

Aleksandr Karvinen

Tuotannon virtauttaminen
Viipurin käämintäyksikössä
lyhyen läpimenoaikamallin staattoreille

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri AMK
Kone- ja tuotantotekniikka
Insinöörityö
16.2.2012

Tekijä Otsikko	Aleksandr Karvinen Tuotannon virtauttaminen Viipurin käämintäyksikössä lyhyen läpimenoaikamallin staattoreille
Sivumäärä Aika	61 sivua + 5 liitettä 16.2.2012
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tuotantotekniikka
Ohjaajat	Markus Lahtinen, valmistuspäällikkö Arto Haapaniemi, yliopettaja
<p>Tämä insinöörityö käsittelee ABB Oy:n staattorialihankinnan läpimenoaikojen lyhentämistä lyhyen läpimenoaikamallin staattoreille ZAO Trafon tehtaalla Viipurissa. Työn ensimmäisenä tavoitteena oli lyhentää alihankintaprosessin läpimenoaikaa, jotta kyseisten staattoreiden viikoittaista saantoa voitaisiin kasvattaa 3 kappaleella.</p> <p>Työ rajattiin koskemaan lyhyen läpimenoaikamallin AMI 400 -, AMI 423 -, AMI 450 - ja AMI 500 -sähkömoottoreiden staattoreita. Lyhyen läpimenoaikamallin sähkömoottoreiden vaikeusasteluokka on A1 ja toimitusaika 12 viikkoa. Työn alkupisteeksi määritettiin esisuunnittelu ja loppupisteeksi valmiiden staattoreiden saapuminen Helsinkiin.</p> <p>Työn toisena tavoitteena oli kehittää mittari, joka antaisi reaaliaikaista tietoa ZAO Trafon tuotannon tilanteesta ja ennakoivaa tietoa tilauksista, jotka ovat vaarassa myöhästyä määräajasta.</p> <p>Työssä esitellään Microsoft Excel -pohjainen mittari, joka näyttää alihankintaprosessin tilanteen reaaliaikaisena. Lisäksi työssä paneudutaan keinoihin, joilla ZAO Trafon läpimenoaikaa saadaan lyhyemmäksi.</p>	
Avainsanat	staattori, käämintä, vyyhti, tuotannon mittari, läpimenoaika

Author Title	Aleksandr Karvinen Production Flow Improvement in Vyborg's Winding Unit for Short Lead-Time Model Stators
Number of Pages Date	61 pages + 5 appendices 16 February 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical and Production Engineering
Specialisation option	Production Engineering
Instructors	Markus Lahtinen, Manufacturing Manager Arto Haapaniemi, Principal Lecturer
<p>This Bachelor's Thesis deals with the shortening of the lead time for ABB's subcontracted short lead time model stators at the ZAO Trafo factory in Vyborg. The first goal of the project was to shorten the lead time of the subcontracting process so that the output of the stators in question could be increased by 3 stators per week.</p> <p>The project was predefined to include short lead time AMI 400, AMI 423, AMI 450 and AMI 500 electric motor stator models. Short lead time electric motor's degree of difficulty is A1 and the delivery time is 12 weeks. The starting point of the project was defined to include pre-planning, and the ending point of the project will be the arrival of the finished stators in Helsinki.</p> <p>The second goal of the project was to create an indicator, which would provide real-time information about the production situation at Trafo and would also provide predictive information about orders, which are at risk for being delayed from the time of delivery.</p> <p>In this report a Microsoft Excel -based indicator is introduced. The indicator displays a real-time situation of the subcontracting process. In addition certain means are examined which contribute to shortening the lead time at Trafo.</p>	
Keywords	stator, winding, coil, production indicator, lead time

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	ABB Oy	2
2.1	Moottorit ja generaattorit -liiketoimintayksikkö	2
2.2	Induktiokoneet-tulosyksikkö	3
3	Läpimenoaika	5
3.1	Läpimenoajan muodostuminen	5
3.2	Läpimenoajan merkitys	6
3.3	Läpimenoajan lyhentäminen	7
3.4	Läpimenoaika-analyysi	8
4	Lean	11
4.1	7 hukkaa	11
4.1.1	Ylituotanto	11
4.1.2	Odotus	12
4.1.3	Varastointi	12
4.1.4	Liike	12
4.1.5	Materiaalin siirrot	12
4.1.6	Yliprosessointi	12
4.1.7	Virheelliset tuotteet	13
4.2	Lean-työkaluja ja -tekniikoita	13
4.2.1	Soluvalmistus	13
4.2.2	Jatkuva parantaminen	13
4.2.3	Juuri oikeaan tarpeeseen	14
4.2.4	Tuotannon tasaaminen	15
4.2.5	Standardoitu työ	15
4.2.6	Total Productive Maintenance	16
4.2.7	5 S	16
5	ZAO Trafo	18

6	Reaaliaikaisen tuotannon mittarin toteuttaminen	20
6.1	Reaaliaikaisen mittarin toimintaperiaate	20
6.2	Tulevaisuuspäivämäärät	21
6.3	Vyyhtitilaukset	21
6.4	Myöhästymän ennakointi	22
6.5	Mittarin tarkkuus	22
7	AMI 400/423/450/500 -staattoreiden tuotanto alihankintana	23
7.1	Tuotteet	23
7.2	Tuotanto	24
8	Alihankintaprosessin nykytila	27
8.1	Nykytilan kartoitus	27
8.2	Läpimenoajan analyysi	28
8.3	Kuljetusten ja staattoripakettien ajoitukset	33
8.4	Suomen ja Venäjän raja	36
8.5	Tuotannon hukat	37
8.6	Tavaran kuljetukset	39
8.7	Kuljetuskustannukset	40
9	Läpimenoajan lyhentäminen lyhyen läpimenoaikamallin staatto-reille	42
9.1	Vyyhdenvalmistus	42
9.1.1	Vakio KET vyyhdenvalmistuksessa	42
9.1.2	Sarjavalmistus vyyhdenvalmistuksessa	44
9.2	Käämintä	45
9.3	Kuljetukset	46
9.4	Kuparimateriaalin odotus ABB:n varastossa ennen lähetystä Viipuriin	48
9.5	Lyhyen läpimenoaikamallin staattoreiden priorisointi	49
9.6	Alihankkijoiden toimitusvarmuus	49
9.7	Muita kehitysideoita	50
9.7.1	Monitaitoisuus	50
9.7.2	Aloitetoiminta	50
9.7.3	Tarkastajien määrä	51
9.7.4	Läpimenoajan laskeminen	51
9.7.5	Tuotannon poikkeamat	51
9.7.6	KET:n visuaalinen esitys	52
9.7.7	Käyttäjäkunnossapito	52

9.7.8	Tuotannon tasaaminen	52
9.8	Lisähuomioita	53
9.8.1	5 S	53
9.8.2	Tuotannon materiaalivirta	53
9.8.3	AMI A1 -staattoreiden tunnistaminen	53
9.9	Yhteenveto läpimenoajan lyhentämisestä	53
10	Lyhyemmän läpimenoajan hyöty lyhyen läpimenoaikamallin staattoreille	56
11	Keskeisimmät potentiaaliset kehittämiskohteet	57
11.1	Ylituotanto vyyhdenvalmistuksessa	57
11.2	Odotus vyyhdenvalmistuksen ja kääminnän välissä	57
11.3	Valmiiden staattoreiden odotus ennen lähetystä Helsinkiin	58
11.4	Viipuriin lähetettävän kuparimateriaalin varastointiaika	58
12	Yhteenveto	59
	Lähteet	60
	Liitteet	
	Liite 1. ZAO Trafon tuotantoprosessi	
	Liite 2. Mittarin yleisnäkymä	
	Liite 3. Follow-up-välilehti	
	Liite 4. Data-välilehti	
	Liite 5. ZAO Trafon materiaalivirrat	

Lyhenteet ja käsitteet

AMI A1 -staattori	Tässä työssä käytetty termi lyhyen läpimenoaikamallin AMI-sähkömoottorin staattorille
Coil	Vyyhti
Coil Manufacturing	Vyyhdenvalmistus
Jalostava työ	Asiakkaalle arvoa tuottavaa työtä
KET	Keskeneräinen tuotanto
Läpimenoaika	Aika, joka kuluu toimintakokonaisuuden alkamisesta sen valmistumiseen
OTD	On Time Delivery, toimitusvarmuus
Tuotanto	Yrityksen sisällä tapahtuva toiminta, jonka tarkoitus on saada aikaan tuote
Valmistus	Toiminta, joka fyysisesti jalostaa raaka-aineita ja puolivalmisteita valmiiksi tuotteeksi
Valmistussuunnitelmamalli	Malli, joka määrittää tuotannon aikataulun, tässä työssä käytetään pelkkää sanaa malli
Winding	Käämintä

1 Johdanto

Tämä insinöörityö on tehty ABB Oy:n Moottorit ja generaattorit -yksikön Induktiokoneet-tulosyksikölle Helsingin tehtaalla. Tehtaalla valmistetaan sähkömoottoreita teollisuuden tarpeisiin, tyypillisiä käyttökohteita ovat pumput, puhaltimet ja kompressorit.

Staattori on olennainen osa sähkömoottorin rakennetta. Staattoreita valmistetaan Pitäjänmäen tehtaan lisäksi alihankintana ZAO Trafon tehtaalla Viipurissa. Trafo saa kaiken työhön tarvittavan materiaalin ABB:ltä, ja sen tuotanto käsittää sekä vyyhdenvalmistuksen että kääminnän. Vuosittainen saanto on noin 500 staattoria.

Tämä työ käsittelee lyhyen läpimenoaikamallin eli A1-mallin AMI 400 -, AMI 423 -, AMI 450 - ja AMI 500 -sähkömoottoreiden staattoreita. Työn tarkoituksena on lyhentää Trafon tuotannon läpimenoaikaa niin, että ABB pystyy ohjaamaan sille nykyistä enemmän kyseisten staattoreiden tilauksia. Tavoitteena on kasvattaa Trafon saantoa 3 staattorilla viikossa. Nykyisin Trafolla valmistetut staattorit ajetaan A-malliin, jossa on pitempi toimitusaika ja tuotantoaika kuin A1-mallissa. A-mallin toimitusaika on 103 päivää, josta vyyhdenvalmistuksen ja kääminnän osuus on 20 päivää. A1-mallissa luvut ovat vastaavasti 82 ja 11 päivää.

ABB:llä on ollut puutetta reaaliaikaisesta ja ennakoivasta informaatiosta Trafon tuotannon tilanteesta. Tuotannon ruuhkat ja myöhästymät eivät olleet tulleet tarpeeksi nopeasti tietoon, jotta niihin olisi voinut reagoida nopeasti.

Raportin alkuosuudessa esitellään teoriaa läpimenoajan lyhentämisestä sekä Lean-filosofiaa. Keskiosuudessa esitellään työn aikana kehitetty reaaliaikainen tuotannon mittari. Loppuosuudessa esitellään läpimenoaikojen lyhentämismahdollisuuksia- ja -keinoja. Erityistä huomiota kiinnitetään Trafon tuotannon virtaukseen ja prosessissa esiintyviin odotusaikoihin.

2 ABB Oy

ABB on sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä, joka on muodostettu vuonna 1988 ruotsalaisen Asean ja sveitsiläisen Brown Boverin fuusiolla. ABB:n historia Suomessa alkaa vuodesta 1889, jolloin Gottfrid Strömberg perusti sähköalan yrityksen. Yritys siirtyi Asean omistukseen vuonna 1987.

Nykyään ABB on globaali konserni, joka toimii noin 100 maassa, ja Suomessa ABB Oy:llä on toimintaa yli 40 paikkakunnalla. Vuonna 2010 ABB Oy:n liikevaihto oli 2174 miljoonaa euroa ja henkilöstöä oli lähes 7000. Panostukset tutkimukseen ja tuotekehitykseen olivat 139 miljoonaa euroa eli yli 6 % liikevaihdosta. ABB Oy:n suurimmat toimipisteet Suomessa sijaitsevat Helsingissä ja Vaasassa.

ABB:n ydinliiketoiminta on organisoitu viiteen divisioonaan, jotka ovat Sähkövoimatuotteet, Sähkövoimajärjestelmät, Sähkökäytöt ja kappaletavara-automaatio, Pienjännite tuotteet sekä Prosessiautomaatio. [1]; [3].

2.1 Moottorit ja generaattorit -liiketoimintayksikkö

Moottorit ja generaattorit -liiketoimintayksikkö kuuluu Sähkökäytöt ja kappaletavara-automaatio -divisioonaan. Yksikkö jakautuu Induktiokoneet-, Tahtikoneet-, Tuulivoimageraattorit-, Global Technical Support - ja Motors-tulosyksikköihin.

Moottorit ja generaattorit -liiketoimintayksiköllä on toimipisteet Helsingissä ja Vaasassa. Helsingin toimipisteessä suunnitellaan, valmistetaan ja myydään suurjännitteisiä vaihtovirtamoottoreita ja -generaattoreita. Standardimoottoreiden lisäksi Helsingissä valmistetaan erikoismoottoreita ja -generaattoreita, kuten tuulivoimageraattoreita, räjähdysvaarallisten tilojen moottoreita sekä liikennevälinemoottoreita.

Vaasan toimipisteessä valmistetaan ja myydään pienjännitteisiä vaihtovirtamoottoreita ja -generaattoreita. Standardimoottoreiden lisäksi Vaasassa valmistetaan erikoismoottoreita ja -generaattoreita, kuten tuulivoimageraattoreita ja räjähdysvaarallisten tilojen moottoreita. [2.]

2.2 Induktiokoneet-tulosityksikkö

Induktiokoneet-tulosityksikössä suunnitellaan, valmistetaan ja myydään oikosulkumootoreita. Vuonna 2010 tulosityksikön liikevaihto oli 120 miljoonaa euroa ja työntekijöitä oli 324. Tuotantomäärä oli 2003 moottoria.

Induktiokoneiden tuotevalikoimaan kuuluvat vakiot M3-valurautamoottorit sekä räätälöidyt AMI-moduulimoottorit ja HXR-valurautamoottorit. Kuvassa 1 on esitetty ABB:n moduulimoottoreita ja kuvassa 2 valurautamoottoreita.



Kuva 1. Vasemmalla pystymallinen ja oikealla vaakamallinen AMI-moduulimoottori.



Kuva 2. Vasemmalla HXR- ja oikealla M3-valurautamoottori.

AMI-moduulimoottorit ovat modulaarisia eli niihin on saatavissa erilaisia lisävarusteita. Moottoreiden jäähdytys toteutetaan esimerkiksi ilmalla tai vedellä. Teholtaan moottorit ovat välillä 140 - 7000 kW ja akselikorkeus on välillä 400 - 630 mm.

Valurautamoottorit on koottu valurautarunkoon, jonka sivuissa on jäähdytysrivat. Näiden moottoreiden jäähdytys on toteutettu ilmalla. Valurautamoottoreiden teho on välillä 100 - 2250 kW ja akselikorkeus on välillä 315 - 560 mm. [1.]

3 Läpimenoaika

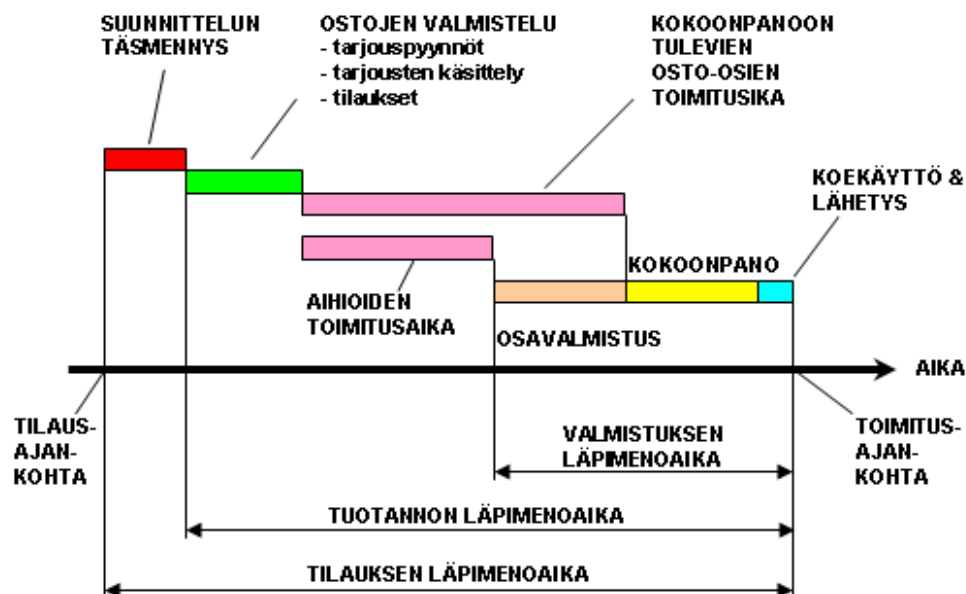
Läpimenoaika on yksi tuotantojärjestelmän tärkeimmistä käsitteistä ja mittareista. Se on aika, joka kuluu jonkin toimintakokonaisuuden alkamisesta sen valmistumiseen. Läpimenoaika voidaan määritellä erilaisille kokonaisuuksille, esimerkiksi valmistukselle, osavalmistukselle tai kokoonpanolle.

Tilauksen läpimenoajan määrittävät

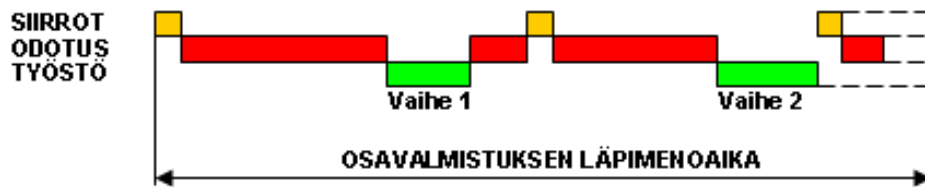
- materiaalihankintojen vaatima aika
- oman valmistuksen läpimenoaika [4, s. 53].

3.1 Läpimenoajan muodostuminen

Valmistuksen läpimenoaika koostuu enimmäkseen vaiheiden alkamiseen liittyvistä odotuksista. Itse työvaiheet usein muodostavat vain pienen osan läpimenoajasta. Mitä enemmän on työvaiheita, sitä enemmän on odotusaikaa. Kuvissa 3 ja 4 on esitetty tilauksen läpiviennin päätoiminnot ja niiden läpimenoajat sekä osavalmistuksen läpimenoajan muodostuminen. [4, s. 53 – 54.]



Kuva 3. Tilauksen läpiviennin päätoiminnot ja niiden läpimenoajat [4, s. 54].



Kuva 4. Osavalmistuksen läpimenoajan muodostuminen [4, s. 54].

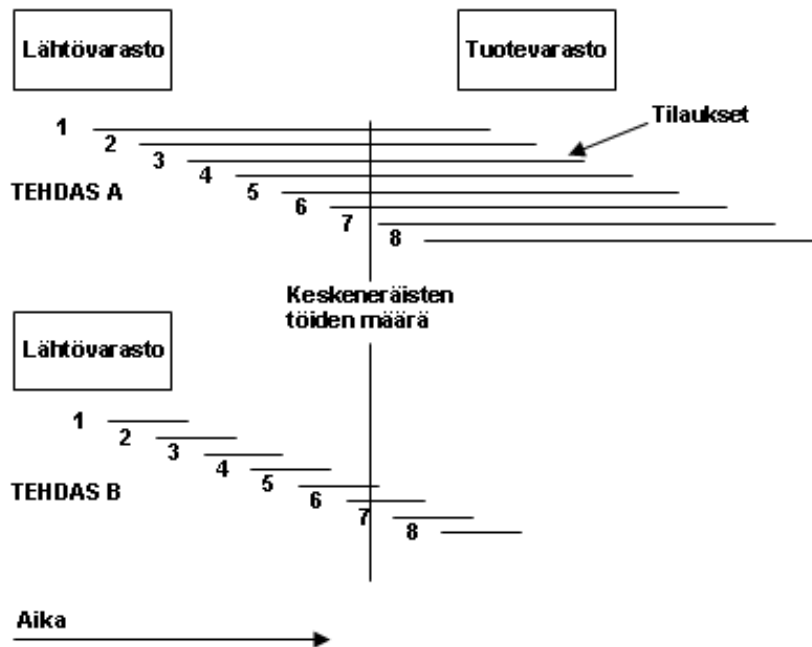
3.2 Läpimenoajan merkitys

Lyhyt läpimenoaika kertoo hyvin toimivasta, joustavasta ja tehokkaasta tuotantojärjestelmästä. Se mahdollistaa lyhyen toimitusajan sekä antaa pelivaraa tuotannon ajoitukseen ja näin ollen parantaa ohjattavuutta.

Asiakasohjautuva tuotanto eli valmistus asiakkaan tilauksen perusteella edellyttää selvästi toimitusaikaa lyhyempää valmistuksen läpimenoaikaa. Jos vaadittava toimitusaika ja oma läpimenoaika ovat yhtä suuret, tuotannon kuormitus vaihtelee myynnin tahdissa, mikä ei anna hyvää tulosta. Asiakasohjautuvassa valmistuksessa ei tarvita valmis-
tuotevarastoja ja puolivalmisteverastotkin voivat olla pieniä.

Lyhyen läpimenoajan valmistuksessa tilauksia tehdään peräkkäin ja vähemmän rinnakkain kuin pitkän läpimenoajan valmistuksessa. Tämä tarkoittaa sitä, että on vähemmän samanaikaisia töitä tekeillä, työnjärjestely on helpompaa ja keskeneräiseen tuotantoon (KET) sitoutunut pääoma on pienempi. KET:n määrä on lähes suoraan verrannollinen läpimenoaikaan.

Työkustannukset eivät riipu suoraan läpimenoajasta, koska suuri osa läpimenoajasta on odotusta ja kapasiteettia sitomatonta aikaa. Sen sijaan vaihto-omaisuuden pääomakustannukset riippuvat voimakkaasti läpimenoajasta varastotarpeiden ja KET:n takia. Kuvassa 5 on esitetty kahden esimerkkitehtaan tilausten läpimenoajat ja KET:n määrä.



Kuva 5. Tilaukset kahden eri tehtaan tuotantosuunnitelmassa [4, s. 56].

KET on osa yrityksen vaihto-omaisuutta. Vaihto-omaisuuteen kuuluvat myös raaka-aine-, puolivalmiste-, komponentti- ja tuotevarastot. Koska vaihto-omaisuus ei jalosta tuotetta, se tulisi pitää pienenä. [4, s. 55]; [4, s. 68 – 69.]

3.3 Läpimenoajan lyhentäminen

Virtauttamalla tuotanto voidaan huomattavasti lyhentää läpimenoaikaa. Tällöin päähuomio kiinnittyy tuotannon sisäisten kuljetusten ja vaiheiden välisien odotusten minimointiin. Kevyessä ja keskiraskaassa tuotannossa valmistuksen läpimenoaika riippuu ensisijaisesti vaiheketjujen pituudesta ja jossain määrin eräkoosta. Osavalmistuksen läpimenoaikaa voidaan siten lyhentää lyhentämällä vaiheketjuja

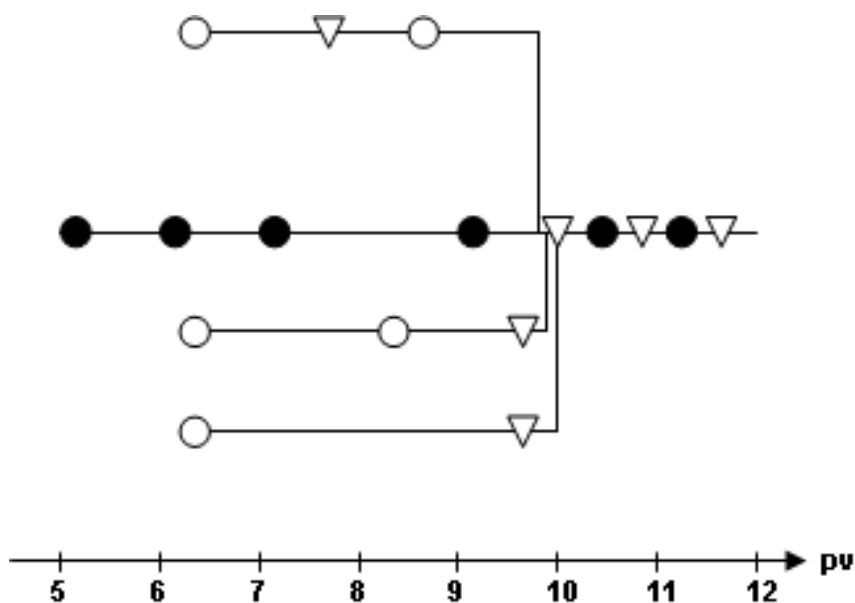
- konstruktio muutoksin
- monitoimisin konein
- yhdistämällä vaiheita soluperusteisella valmistusjärjestelmällä.

Raskaassa koneenrakennuksessa vaiheajat ovat niin pitkiä, usein 100 - 200 h/vaihe, että läpimenoaika lähestyy työaikojen summaa. Tällöin on kehitettävä pelkästään menetelmiä. Kokoonpanon läpimenoaikaan vaikutetaan muun muassa

- levittämällä kokoonpanotyö rinnakkain tehtävissä olevien osakokoonpanojen avulla
- kehittämällä osavalmistus ja osien ohjaus häiriöttömäksi [4, s. 56 - 58]; [5, s. 23.]

3.4 Läpimenoaika-analyysi

Läpimenoaika-analyysissä selvitetään läpimenoajan muodostuminen. Analyysissä selvitetään läpimenoajan pituus ja sen jakautuminen prosessin eri vaiheiden kesken. Läpimenoajasta saa hyvän käsityksen, jos piirretään työnvaihekaavio (kuva 6).



Kuva 6. Työnvaihekaavio, johon on lisätty aika-akseli. Tummennetut työnvaiheet kuuluvat kriittiseen polkuun. [5, s. 23.]

Läpimenoaika-analyysiä varten lasketaan myös läpimenoajan hyötysuhde. Hyötysuhteen merkitys on lähinnä suuntaa antava, mutta se antaa kuvan läpimenoajan lyhentämismahdollisuuksista. Matala hyötysuhde kertoo, että tuotannossa on paljon arvoa jalostamatonta työtä kuten kuljetusta, odotusta ja varastointia. On vaikea sanoa, kuinka suuri hyötysuhteen arvon pitäisi olla. Kuitenkin lyhyille vaiheketjuille arvon pitäisi olla suuri.

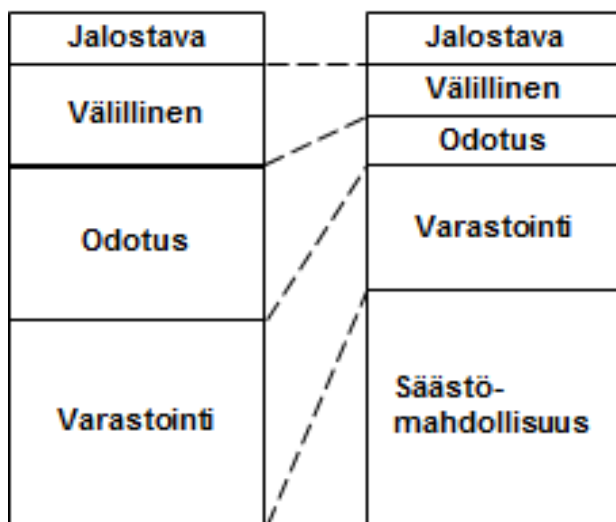
Läpimenoajan hyötysuhteen selvittäminen etenee seuraavasti:

- Luetteloidaan työvaiheet.
⇒ jalostavat ja välilliset vaiheet, odotusajat ja varastointivaiheet
- Lasketaan työtunnit valmistuksen kriittisen polun mukaisesti. Kriittisen polun valinnalla pystytään eliminoimaan rinnakkaisten töiden vaikutus.
- Arvioidaan odotusaikojen pituudet.
- Lasketaan kokonaisläpimenoaika.
- Lasketaan läpimenoajan hyötysuhde kaavalla 1.

$$\text{Läpimenoajan hyötysuhde} = \frac{\text{Kriittisen polun työtunnit}}{\text{Läpimenoaika}} * 100 \quad (1)$$

Hyötysuhde on myös mahdollista laskea jollekin yksittäiselle työvaiheelle. Esimerkiksi, jos kokoonpanon läpimenoaika on 1 viikko ja työhön käytetään 6 minuuttia, saadaan hyötysuhteeksi $6 / (1 \times 5 \times 8 \times 60) \times 100 \% = 0,25 \%$. Kriittiseen polkuun kuuluvat työvaiheet määräävät lyhimmän saavutettavissa olevan läpimenoajan (kuva 6).

Läpimenoajan lyhentäminen muun muassa lyhentää välillistä työtä, helpottaa varastojen pienentämistä ja tuotannon virtauttamista, parantaa kilpailu- ja reagointikykyä sekä parantaa toiminnan tehokkuutta. Kuvassa 7 on kuvattu esimerkki saavutettavissa olevista säästömahdollisuuksista.



Kuva 7. Läpimenoaikojen lyhentämiseen liittyvät säästömahdollisuudet [5, s. 24].

Valmistuksen lisäksi tuotannon läpimenoaikaan vaikuttaa materiaalien hankinta. Materiaalien hankinnan osuus läpimenoajasta saattaa olla merkittävä. [4, s. 58]; [5, s.23 - 24.]

4 Lean

Lean-filosofia tähtää kerralla oikein tekemiseen sekä jaksoaikojen ja varastojen pienentämiseen eliminoimalla hukkaa. Lean-filosofian päähuomio on lisäarvon luomisessa asiakkaalle. Lisäarvon luonti, joka myös kasvattaa organisaation tuottavuutta, tehdään eliminoimalla arvoa lisäämättömät toiminnot eli hukat. Lean-filosofiassa tyydytetään asiakkaan tarpeet muun muassa parantamalla omaa tuottavuutta sekä pienentämällä läpimenoaikaa, valmistuskustannuksia, tuotteen markkinoille saattamiseen kuluva-aikaa ja laatukustannuksia. Tämä toteutetaan toiminnan jatkuvalla parantamisella, jossa tunnistetaan hukat ja eliminoidaan ne. [7, s. 1.]

4.1 7 hukkaa

Hukka on turhuutta eli toimintaa, joka ei lisää arvoa. Lean-organisaation pitää jatkuvasti etsiä toimintansa hukat ja johdonmukaisesti pyrkiä eliminoimaan ne. Seuraavissa luvuissa on kerrottu erilaisista hukkatyypeistä.

4.1.1 Ylituotanto

Ylituotantona käsitetään tuote, jota ei voi myydä asiakkaalle (jos kyseessä on lopputuote) tai tuote, jota vielä tullaan prosessoimaan prosessin myöhemmissä vaiheissa (jos tuotteen valmistus on kesken). Ylituotanto voi olla seurausta liian aikaisin valmistamisesta tai valmistamisesta yli tarpeen. Kun tuotannossa esiintyy ylituotantoa, se estää materiaalin sujuvaa virtausta läpi prosessin ja aiheuttaa tuottavuuden pienentymistä.

Ylituotannon kustannukset ovat aina suuret riippumatta siitä, onko kyseessä KET vai valmis tuote. Ylituotannon kustannukset sisältävät varastojen kasvua, varastointikustannusten kasvua ja virheellisten tuotteiden määrän kasvua. [7, s. 156 - 157.]

4.1.2 Odotus

Odotushukkaa esiintyy, kun tuotantoresurssit seisovat odottaessaan materiaaleja tai kun materiaalit odottavat pääsyä työstettäväksi. Odotushukka kasvattaa KET:n määrää ja kasvattaa jaksoaikoja sekä pienentää tuottavuutta. [7, s. 157 - 158.]

4.1.3 Varastointi

Varastointi ei lisää arvoa eikä jalosta tuotetta. Se vaatii ylimääräistä työvoimaa ja lattiapinta-alaa. Kirjanpidon näkökulmasta varasto on omaisuutta, mutta se on enemmänkin rasite. Tarpeeton varastointi on yleensä ylituotannon seurausta. Useimmat tuotannon sujuvuutta haittaavat ongelmat ovat seurausta varastoinnista. [7, s. 158.]

4.1.4 Liike

Turha liike tarkoittaa laitteiden ja työvoiman arvoa lisäämätöntä liikettä. Jos työntekijät joutuvat jatkuvasti liikkumaan etsiessään osia tai työkaluja, heille jää vähemmän aikaa työtehtävien suorittamiseen. Turha liike kasvattaa KET:tä ja heikentää laatua. [7, s. 158.]

4.1.5 Materiaalin siirrot

Tuotteiden siirrot eivät lisää arvoa, mutta voivat olla välttämätön osa prosessia, koska materiaalin odotetaan virtaavan prosessissa. Turhia siirtoja esiintyy silloin, kun tuotantosolut ovat liian kaukana toisistaan. Turhat siirrot lisäävät KET:tä ja jaksoaikaa sekä kasvattavat virheiden riskiä. [7, s. 158 - 159.]

4.1.6 Yliprosessointi

Jotta organisaatio voisi tuottaa tuotteita, sen pitää prosessoida materiaaleja. Organisaation pitää kuitenkin valita tehokkain prosessointitapa resurssien kulutuksen kannalta. Yliprosessointi tarkoittaa, että prosessoidaan tuotetta enemmän kuin asiakas vaatii. Väärän prosessointitavan käyttö johtaa yliprosessointiin eli ylimääräisen työn tekemiseen, ylituotantoon ja virheellisiin tuotteisiin. [7, s. 158 - 159.]

4.1.7 Virheelliset tuotteet

Virheelliset tuotteet johtavat joko ylimääräiseen työhön (tuotteen korjaus) tai tuotteen hylkäämiseen. Ne kasvattavat kustannuksia ja pienentävät tuottavuutta. Virheellisten tuotteiden ja joidenkin muiden hukkien välillä on korrelaatiota, eli virheellinen tuote todennäköisesti johtaa johonkin toiseen hukkaan. [7, s. 159.]

4.2 Lean-työkaluja ja -tekniikoita

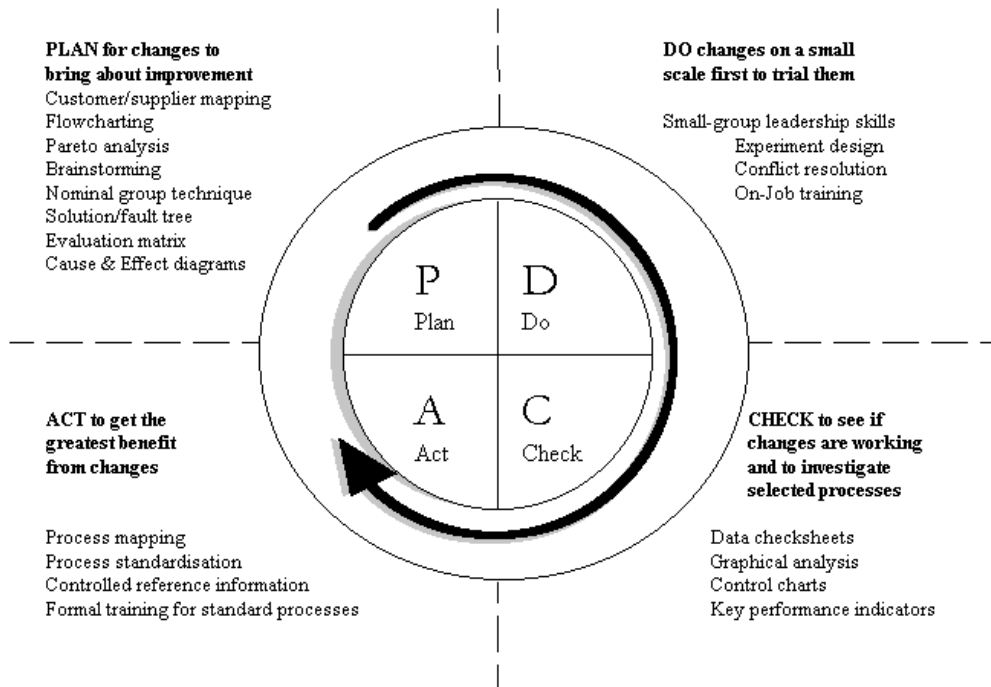
4.2.1 Soluvalmistus

Soluvalmistus on yksi Leanin kulmakivistä. Sen avulla voi kasvattaa tuotemixiä minimialisella hukalla. Solun varustus ja työpisteet on sijoitettu niin, että materiaalin sujuva virtaus läpi prosessin tulee mahdolliseksi ja siinä on oma koulutettu henkilöstönsä.

Yksi soluvalmistuksen eduista on konsepti, jonka mukaan prosessin läpi kulkee vain yksi tuoteyksikkö kerrallaan ilman äkkinäisiä keskeytyksiä. Muita etuja ovat muun muassa KET:n pieneneminen, läpimenoajan lyheneminen ja tuottavuuden kasvu. [8, s. 10 - 11.]

4.2.2 Jatkuva parantaminen

Jatkuvaksi parantamiseksi kutsutaan toimintaa, jossa tuotteita, palveluita tai prosesseja parannetaan jatkuvasti ja ilman keskeytyksiä. Sitä tehdään pienin askelin. Jatkuvaa parantamista voi havainnollistaa kuvan 8 avulla. Kuvassa on esitetty PDCA-sykli eli Demingin ympyrä. PDCA tulee sanoista Plan, Do, Check ja Act eli Suunnittele, Tee, Tarkista ja Toimi.



Kuva 8. PDCA-sykli eli Demingin ympyrä [9].

Ympyrän mukaan ensin suunnitellaan parannus, minkä jälkeen toteutetaan suunnitelma. Näiden jälkeen tarkistetaan kuinka muutokset ovat onnistuneet, ja viimeisenä otetaan käyttöön uusi toimintatapa.

4.2.3 Juuri oikeaan tarpeeseen

Juuri oikeaan tarpeeseen eli JOT-periaatteen (engl. JIT, Just-In-Time) mukaan pitää tuottaa oikea määrä oikeaa tuotetta oikeaan aikaan oikeaan paikkaan. Tällä pienennetään muun muassa KET:tä ja laatuvirheitä.

JOT-tuotannossa käytetään imuohjausta, jossa tuotanto lähtee pyörimään asiakkaan tilauksesta, joka toimii signaalina. Asiakas voi olla sisäinen tai ulkoinen. Signaalin seurauksena materiaalia "imetään" prosessista. Prosessin alavirrassa oleva työvaihe pyytää tarvittavat materiaalit edelliseltä työvaiheelta, edellinen pyytää sitä edelliseltä jne. Näin edetään prosessin ylävirtaan aina ensimmäiseen työvaiheeseen asti.

JOT:ssä eräkoot ovat pieniä ja eriä hallitaan Kanbaneilla. Kanban on visuaalinen menetelmä, jonka avulla seuraava työvaihe pyytää edelliseltä lisää tuotoksia. Edelliselle työvaiheelle lähetetään kortti, jossa on kaikki tarvittavat tiedot, esimerkiksi tuotosten

määrä ja laatu. Kanbanien käyttö JOT:ssä mahdollistaa pienemmät eräkoot ja pienemmät varastot. [8, s. 13 - 16.]

4.2.4 Tuotannon tasaaminen

Tuotannon tasaaminen on eräs hukan vähentämisessä käytetty työkalu. Periaatteena on tuotantomäärän pitäminen tasaisena päivästä toiseen. Jotta näin olisi, tuotannon pitäisi olla suunniteltu sujuvaksi, jotta tuotettaisiin oikea määrä tuotoksia ja hyödynnetäisiin työvoimaa tehokkaasti. Epätasainen tuotantomäärä johtaa KET:n kasvuun. [8, s. 19.]

4.2.5 Standardoitu työ

Standardoimalla työntekijöiden työ voidaan vähentää hukkaa. Periaatteena on, että työ on organisoitu ja toteutettu tehokkaasti. Laadun taso on sama riippumatta siitä, kuka työn tekee. Tahtiaika (takt time) on työn standardoinnin työkalu, joka kertoo kuinka usein tuotos pitää tuottaa, jotta asiakkaan vaatimus täyttyy. Tavoitteena on tuottaa tuotoksia tahtiajan mukaan, ei nopeammin. Tahtiaika lasketaan kaavalla 2. [8, s. 19 - 20.]

$$\text{Tahtiaika} = \frac{\text{Käytettävissä oleva työaika}}{\text{Asiakasvaatimus/kpl}} \quad (2)$$

ESIMERKKI 1

Tuotanto pyörii kahdessa vuorossa, kokonaistyöaika on 8 h/vuoro, taukojen sekä seisokkien aika on 0,8 h/vuoro ja vaatimuksena on tuottaa 40000 tuotosta kahden vuoron aikana. Tahtiaika on silloin $(2 \times 8 \text{ h} \times 60 \text{ min} \times 60 \text{ s} - 2 \times 0,8 \text{ h} \times 60 \text{ min} \times 60 \text{ s}) / 40000 \text{ kpl} \approx 1,3 \text{ s/kpl}$. Tämä tarkoittaa, että prosessista on tultava ulos yksi tuotos 1,3 sekunnin välein, jotta käytettävissä olevassa ajassa voisi tuottaa 40000 tuotosta.

4.2.6 Total Productive Maintenance

Total Productive Maintenance eli TPM tarkoittaa kokonaisvaltaista kunnossapitoa. TPM-konseptissa koneenkäyttäjät suorittavat säännöllisesti käyttämilleen koneille ehkäisevää huoltoa ja vianetsintää, jotka ylläpitävät koneiden toimintavarmuutta. Koneenkäyttäjät suorittavat itse koneiden siivouksen, tarkastukset ja voitelut. Näin voidaan vaikuttaa laiterikkojen ja tuotantoseisokkien määrään. [8, s. 20 - 21.]

4.2.7 5 S

5 S on jatkuvan parantamisen työkalu, joka on hyödyksi hukan poistamisessa ja tuottavuuden kasvattamisessa. 5 S tulee 5 "ässästä", jotka tarkoittavat:

- 1 S - Sortteeraus
- 2 S - Systematisointi
- 3 S - Siivous
- 4 S - Standardointi
- 5 S - Seuranta

1 S -vaiheessa tuotannossa olevat tarpeettomat tavarat ja työkalut viedään pois. Huonokuntoiset tavarat heitetään roskeen ja käyttökelpoiset harvoin käytetyt tavarat siirretään pois tieltä. Näillä toimenpiteillä mahdollistetaan materiaalin sujuvampi virtaus prosessin läpi ja helpotetaan työntekijöiden työskentelyä.

2 S -vaiheessa työpiste järjestetään niin, että tavarat ovat nopeasti löydettävissä ja haettavissa. Jokaiselle tavaralle on oma paikkansa ja paikat on merkitty lapuilla tai kylteillä. Tavaroiden järjestäminen helpottaa työskentelyä ja parantaa tuottavuutta, koska selkeässä työpisteessä ei tarvitse hukata aikaa tavaroiden etsimisessä.

3 S -vaiheessa työalue siivotaan. Työalueen pitää olla siisti ja viihtyisä. Siivouksen pitää olla säännöllistä ja kaikkien alueella työskentelevien vastuulla. Hyvin hoidettu työalue luo terveellisen ja turvallisen työympäristön.

4 S -vaiheessa standardoidaan siivouskäytännöt. Esimerkiksi siivousalueet merkitään alueen karttaan väreillä ja määritetään siivousaikataulu. Lisäksi työpisteet auditoidaan säännöllisesti.

5 S -vaiheessa pidetään huolta siitä, että käytäntöjä noudatetaan. Johto voi esimerkiksi katselmuksen yhteydessä kertoa työntekijöille mitä heiltä vaaditaan, palkita niitä, jotka noudattavat käytäntöjä ja ohjeistaa niitä, jotka eivät noudata. [8, s. 11 - 13.]

5 ZAO Trafo

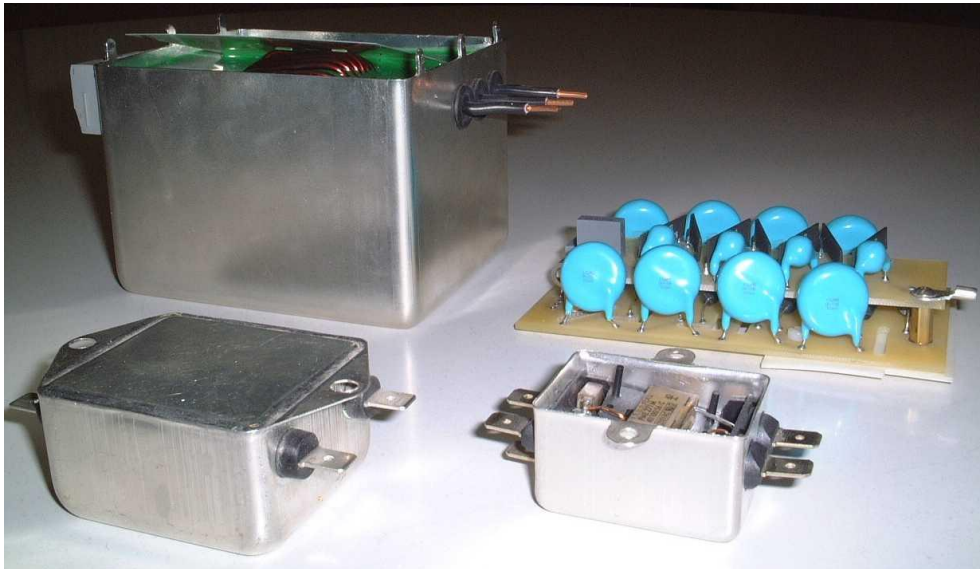
Trafo on Viipurissa sijaitseva yritys, joka on suomalaisen IB Russia Trading Ltd Oy:n eli RTL:n omistuksessa. Trafo tekee alihankintaa useille tunnetuille yrityksille. Trafon asiakkaina ovat muun muassa ABB, General Electric, Kone, Nokia ja Kemppi.

Trafo on perustettu vuonna 1994 ja vuodesta 2007 yrityksen käämintäyksikössä on valmistettu alihankintana ABB:lle AMI- ja HXR-sähkömoottoreiden staattoreita. Staatto-reiden vuosittainen saanto on noin 500 kappaletta.

Trafolla työskentelee noin 230 henkilöä ja sen käämintäyksikön henkilöstön lukumäärä on noin 60. Trafon tuotteita ovat muun muassa

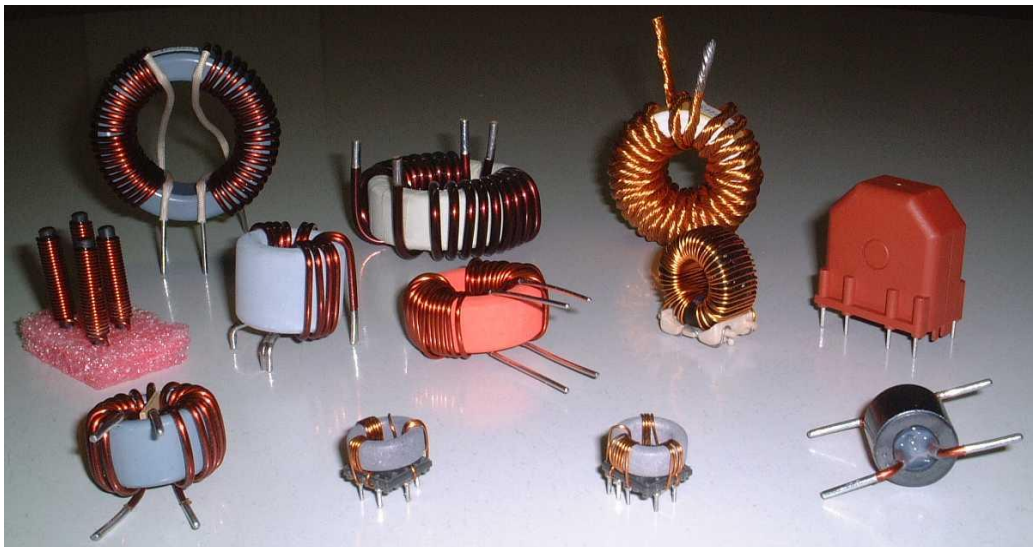
- staattorit
- hitsauslaitteet
- muuntajat
- kuristimet
- verkkohäiriösuodattimet
- kaapelit
- jännitelähteet. [6]; [10.]

Liitteessä 1 on esitetty kuvaus Trafon käämintäyksikön tuotantoprosessista. Kuvissa 9 ja 10 näkyy osa Trafon valmistamista tuotteista.



Kuva 9. Verkkohäiriösuodattimia [12].

Verkkohäiriösuodattimilla suojataan sähkölaitteet jännitepiikeiltä ja muilta sähköverkon häiriöiltä.



Kuva 10. Ferriittirengasmuuntajia [13].

Ferriittirengasmuuntajia käytetään suojajännitemuuntajina sekä erilaisissa virta- ja audiopiireissä.

6 Reaaliaikaisen tuotannon mittarin toteuttaminen

ABB:llä oli ongelmana reaaliaikaisen ja ennakoivan tiedon puute Trafon tuotannon tilanteesta. Ei ollut esimerkiksi saatavilla tietoa ruuhkista tuotannossa eikä tietoa tilauksista, jotka ovat vaarassa myöhästyä määräajasta. Piti siis kehittää visuaalinen mittari, joka antaisi nopealla vilkaisulla näitä tietoja. Trafon tuotannon lisäksi mittari näyttäisi kuljetusvaiheessa olevien materiaalien ja valmiiden staattoreiden määrän.

6.1 Reaaliaikaisen mittarin toimintaperiaate

Mittari (liite 2) kehitettiin Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmalla. Mittari esittää reaaliaikaisesti KET:n määrän eri prosessivaiheissa. Mittari myös päivittyy automaattisesti. Lähdedata tulee Follow-up -välilehdeltä (liite 3), jolla on valmistussuunnitelma ja jolle syötetään manuaalisesti aloitus- ja lopetuspäivämääriä sitä mukaa, kuin prosessin eri vaiheissa tapahtuu edistymistä.

Seuraava askel on Data -välilehti (liite 4), jossa jokaista prosessin vaihetta vastaa oma sarake ja jokaista riviä vastaa oma rivinsä Follow-up-välilehdellä. Sitä mukaa kuin valmistussuunnitelmaa päivitetään, Data-välilehden soluissa esiintyy arvo 1, jos prosessissa on KET:tä. Jos KET:tä ei ole, solut ovat tyhjiä. Seuraavassa on esitetty yksi Data-välilehden funktioista.

$$=IF(AND('Follow-up'!H4>0;'Follow-up'!H4<=O1);(OR('Follow-up'!J4<1;'Follow-up'!J4>O1));'Follow-up'!Y4="");1;"")$$

Soluun H4 syötetään kupareiden lähetyspäivämäärä Helsingistä, soluun J4 syötetään kupareiden saapumispäivämäärä Viipuriin, solussa O1 on tämänhetkinen päivämäärä ja soluun Y4 syötetään tieto, jos tilaus peruuntuu. Funktio kertoo, että kun solussa H4 on päivämäärä, joka vaihtelee 1:n ja nykypäivän välillä ja kun solussa J4 on joko tyhjää tai solussa oleva päivämäärä on suurempi kuin nykypäivä ja solu Y4 on tyhjä, funktio palauttaa arvon 1, muussa tapauksessa palautuu tyhjä solu. Jos solussa on arvo 1, niin kyseisen projektinumeron kuparit ovat kuljetusvaiheessa, eivätkä ole vielä saapuneet Viipuriin.

Itse mittari laskee Data-välilehdellä esiintyvät arvot yhteen ja esittää ne summana niin ikään funktioiden avulla. Jokaista prosessivaihetta vastaa oma sarakkeensa Data-välilehdellä. Jos sarake on tyhjä, mittari palauttaa soluun arvon 0.

6.2 Tulevaisuuspäivämäärät

Valmistussuunnitelmaan syötetään toteutuneiden päivämäärien lisäksi tulevaisuuspäivämääriä. Tulevaisuuspäivämäärät ovat joko veikkauksia tulevasta tai ne voivat olla varmaa tietoa siitä, että tietyssä päivänä jotain tulee prosessissa tapahtumaan (esimerkiksi kuljetus on tilattu seuraavalle viikolle) ja ne on esitetty valmistussuunnitelmassa sinisellä tai vihreällä värillä. Mittariin piti siis lisätä solu, jossa Today-funktiolla esitetään nykyinen päivämäärä. Data-välilehden funktiot on koodattu vertaamaan valmistussuunnitelmassa olevaa päivämäärää nykypäivään, ja jos valmistussuunnitelmas-
sa päivämäärä on suurempi, sitä ei oteta huomioon. Näin mittari ymmärtää, että kyseinen päivämäärä ei ole toteutunut, vaan että se on tulevaisuutta.

6.3 Vyyhtitilaukset

Joskus tilaus koostuu pelkästään vyyhdenvalmistuksesta ilman kääminnän osuutta. Tämä aiheutti alkuun ongelman Coils in Stock -vaiheessa. Tavallisessa staattoritilauksessa vyyhdenvalmistuksen jälkeen seuraa valmiiden vyyhtien varastointi ja vyyhdet odottavat kääminnän aloitusta. Vyyhtitilauksessa taas mittarin pitää käsitellä tilaus valmiina projektina (Ready Projects) heti, kun vyyhdenvalmistus loppuu.

Alussa, kun kyseessä oli vyyhtitilaus, valmiit vyyhdet jäivät vyyhdenvalmistuksen jälkeen odottamaan staattoripaketteja, jotka eivät koskaan saapuneet. Coils in Stock -, Ready Projects - ja Estimated Delay -funktiot koodattiin niin, että mittari ymmärtää kyseessä olevan pelkkä vyyhtitilaus. Tämä toteutettiin lisäämällä valmistussuunnitelmaan Only Coils -sarake, johon syötetään mitä tahansa dataa. Nyt, jos kyseessä on vyyhtitilaus, tilauksen status on vyyhdenvalmistuksen jälkeen Ready Projects. Tietojen syöttäjän tietysti pitää muistaa syöttää dataa Only Coils -sarakeeseen, ettei mittariin jää kummittelemaan lukuja.

6.4 Myöhästymän ennakointi

Mittariin on luotu Estimated Delay - ja Estimated OTD % -kohdat. Niissä näkyy niiden tilausten lukumäärä, jotka ovat vaarassa myöhästyä määräajasta eli Last Receiving Day -päivämäärästä, ja kaikkien tilausten ennakoitu toimitusvarmuus. Estimated Delay -funktion koodaaminen oli kaikista haastavinta, koska oli lukuisia eri tekijöitä, jotka piti ottaa huomioon. Toimivan funktion laatimiseen vaikuttivat tilauksen määräaika, vyyhdenvalmistuksen aloitus, kääminnän aloitus, lähetyspäivämäärä Viipurista, tulevaisuus-päivämäärät ja vyyhtitilaukset.

Mittari ennakoi tilauksen myöhästymää, jos määräajan ja vyyhdenvalmistuksen alkamispäivän erotus on 10 päivää tai vähemmän ja jos määräajan ja kääminnän alkamispäivän erotus on 5 päivää tai vähemmän. Mittari kertoo tilauksen myöhästymästä myös, jos määräajan ja Viipurista lähetyspäivän erotus on 0 päivää tai vähemmän.

Ennusteen osalta kääminnän aloituspäivä määrää viime kädessä myöhästymän. Esimerkiksi, jos vyyhdenvalmistus alkaa myöhässä ja käämintä taas ajoissa, niin tilauksen Estimated Delay -status poistuu.

Estimated OTD % -kohta kertoo niiden tilausten prosentuaalisen osuuden, jotka todennäköisesti saapuvat ajallaan. Tässä yksinkertaisesti lasketaan kyseisten tilausten osuus kaikista tilauksista.

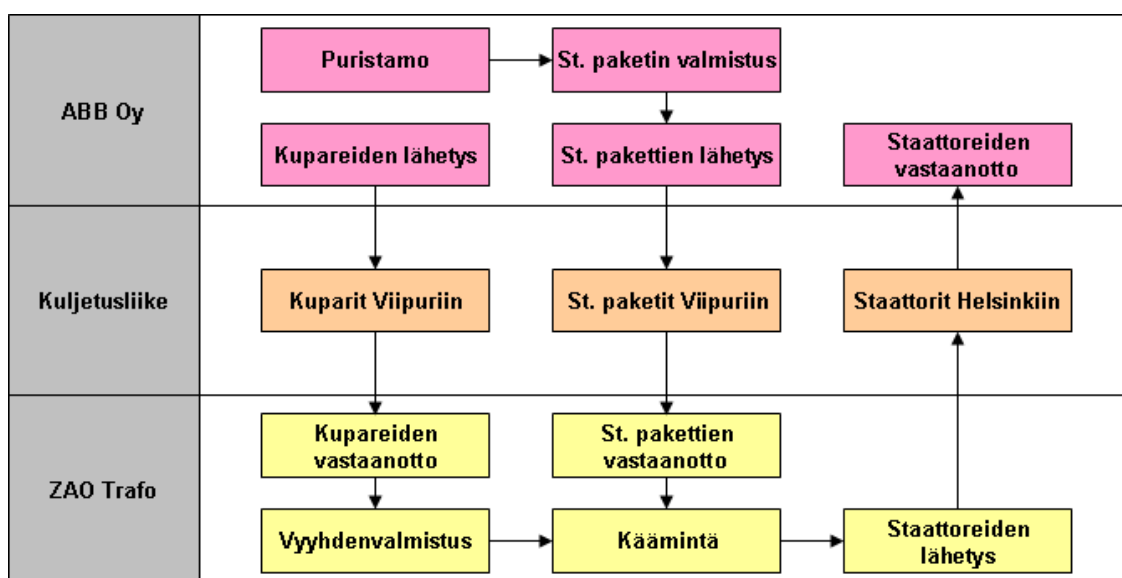
6.5 Mittarin tarkkuus

Mittari toimii 1 päivän tarkkuudella. Tämä johtuu siitä, että valmistussuunnitelmassa oleva datan tarkkuus on myös 1 päivä. Mittarin antamassa tiedossa on tästä syystä epätarkkuutta siinä, kun tulevaisuuspäivämäärä muuttuu nykypäiväksi ja mittari luulee, että kyseessä on toteutunut päivämäärä. Todellisuudessa voi olla niin, että jokin prosessin vaihe loppuu vasta iltapäivällä, mutta mittari näyttää pitkin päivää, että se on jo loppunut.

Lisäksi päivämäärien syöttäjien tekemät mahdolliset virheet vaikuttavat mittarin esittämiin lukuihin. Vaikutus on kuitenkin lyhytaikainen, koska virhe korjaantuu seuraavassa prosessin vaiheessa.

7 AMI 400/423/450/500 -staattoreiden tuotanto alihankintana

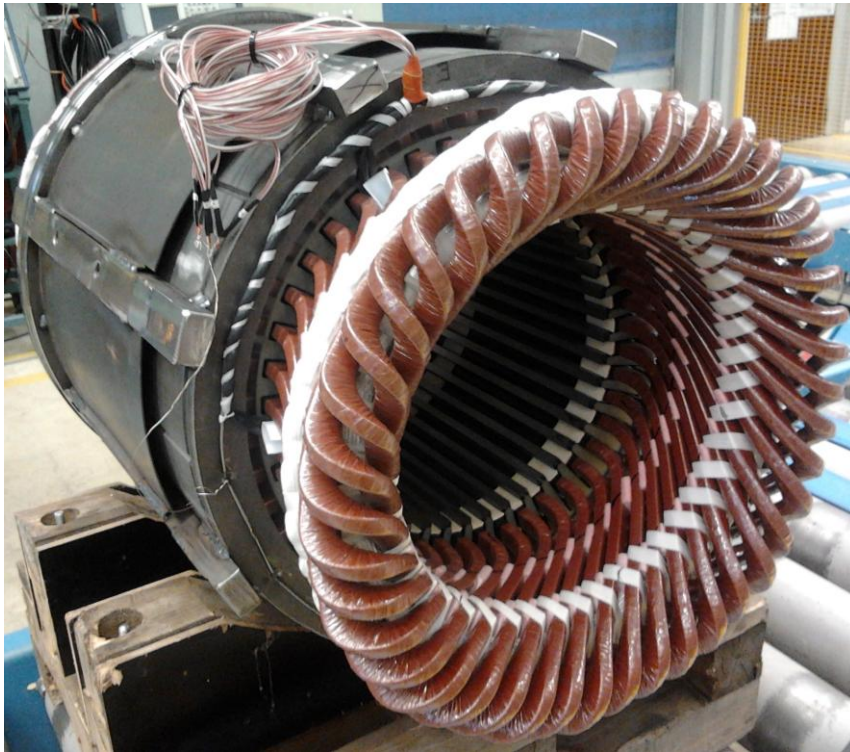
Trafon tehtaalla valmistetaan AMI 400 -, AMI 423 -, AMI 450 - ja AMI 500 -sähkömoottoreiden staattoreita. Staattoripaketit valmistetaan ABB:n Helsingin tehtaalla ja ne lähetetään Trafolle kokoonpanoa varten. Trafo saa ABB:ltä kaikki muutkin tarvittavat materiaalit kuten kuparit ja eristemateriaalit. Kuvassa 11 on esitetty alihankinnan kulku ABB:llä ja Trafolla.



Kuva 11. Staattorituotanto alihankintana

7.1 Tuotteet

AMI 400 -, AMI 423 -, AMI 450 - ja AMI 500 -staattorit ovat moduulimoottoreiden staattoreita. Mallimerkinnän kirjainyhdistelmä kertoo, että kysessä on moduulimoottori, ja merkinnän perässä oleva luku kertoo moottorin akselikorkeuden. Moottorit voivat olla sekä pysty- että vaakamallisia, ja niiden käyttökohteina ovat muun muassa pumput, puhaltimet, kompressorit, liukuhihnat, murskaimet ja laivojen potkurit. Kuvassa 12 näkyy AMI 400 -staattori.



Kuva 12. AMI 400 -staattori.

7.2 Tuotanto

Prosessi alkaa ABB:n Helsingin tehtaalta, jossa puristetaan sähköpellistä levyt staattoria varten. Tästä sähkölevyt jatkavat paketinvalmistukseen, jossa ne ladotaan ja hitsataan. Lopputuloksena on staattorin runko, jota sanotaan staattoripaketiksi. Samaan aikaan lähetetään Viipuriin kuparimateriaalit vyyhdenvalmistusta varten. Staattoripaketit lähetetään viikkoa myöhemmin käämintää varten.

Trafon käämintäyksikkö on kaksikerroksinen. Yläkerroksessa sijaitsee varasto, jossa varastoidaan sekä materiaalit että valmiit staattorit. Alakerroksessa sijaitsee tuotantotila, jossa valmistetaan kuparivyyhdet ja käämitetään staattoripaketit sekä pakataan valmiit staattorit lähetysvalmiiksi.

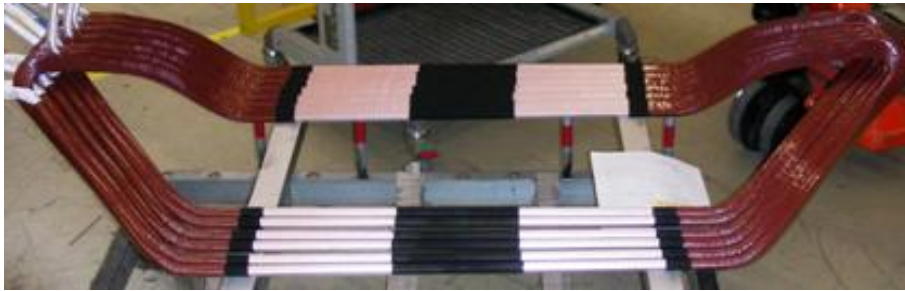
Staattoreiden tuotanto alkaa vyyhdenvalmistuksesta, jolloin kuparikelat tuodaan varastosta tuotantotilaan. Vyyhdenvalmistusprosessi alkaa kelauksesta, jossa kupari kelataan vyyhdeiksi. Vaaditun vyyhtimäärän lisäksi kelataan aina varmuuden vuoksi muutama ylimääräinen vyyhti. Vyyhdet asetetaan vyyhtitelineelle, yhdelle telineelle asetetaan yhden staattorin vyyhdet. Kuvassa 13 näkyy vyyhdenvalmistuksessa käytettävä teline.



Kuva 13. Vyyhdenvalmistuksessa käytetty teline.

Seuraavaksi vyyhdet eristetään, ensin koneellisesti ja sen jälkeen käsin. Eristysvaiheessa vyyhdet saavat ympärilleen sähköä eristävää nauhaa, jotta virta ei löisi niistä läpi, kun ne ovat jännitteen alaisina.

Eristyksen jälkeen vyyhdet puristetaan kavennuspuristimella ja levitetään levityskoneella. Ennen levitysvaihetta vyyhdet ovat vielä ovaalin muotoisia. Levitysvaiheessa vyyhdet levitetään tiettyyn muotoon, jotta ne voisi asettaa oikein (käämiä) staattoripaketin sisään. Levityksen jälkeen työntekijä tarkistaa sabluunalla, että levitys tapahtui oikein. Sabluuna on puumalli, joka vastaa staattoripaketin sisäpuolta. Valmiit vyyhdet ovat tässä vaiheessa sen muotoisia, ettei niitä enää laiteta telineelle vaan omalle säilytysalustalle. Kuvassa 14 näkyy valmiita vyyhtejä.



Kuva 14. Vyyhtejä

Vyyhdenvalmistuksen viimeinen vaihe on valmiiden vyyhtien tarkastus, jossa vyyhteihin johdetaan jännite ja tarkistetaan, että eristykset kestävät. Tämän jälkeen valmiit vyyhdet viedään omalle paikalleen odottamaan kääminnän aloitusta.

Käämintä alkaa staattoripaketin tuomisella varastosta tuotantotilaan ja sen asettamisella käämintäalustan päälle, minkä jälkeen työntekijät alkavat asettaa vyyhtejä staattoripaketin sisään eli käämiä. Kääminnän jälkeen seuraa kytkentävaihe, jossa vyyhdet kytketään ryhmiksi ja ryhmät kytketään toisiinsa sähköpiirustuksen mukaisesti. Kytkeä tehdään juottamalla. Käämintäprosessin viimeinen vaihe on valmiiden staattoreiden tarkastus, jossa tarkastetaan kytkentöjen jännitteen kesto. Tarkastuksen läpäisseet staattorit pakataan tuotantotilassa ja viedään yläkerran varastoon odottamaan lähetystä Helsinkiin.

Trafon materiaalivirta on kuvattu liitteessä 5.

8 Alihankintaprosessin nykytila

Trafolle ohjataan tilauksia, jos tietyt kriteerit täyttyvät. Näitä kriteerejä ovat muun muassa moottorin tyyppi, vyyhtinipun korkeus, staattoripaketin pituus ja erilaiset mitat.

Trafolla valmistetut staattorit ajetaan A-malliin. AMI A1 -staattoreita ei aina voida ohjata Viipuriin, jos Trafon kuorma on sen verran iso, että staattori ei ehdi valmistua tavoiteajassa. Samasta syystä Trafolle jo ohjattu AMI A1 -staattori voidaan ohjata takaisin ABB:n tuotantoon, jos huomataan, että Trafon tuotannon läpimenoaika ei riitä sen valmistamiseen.

Trafon kapasiteetiksi on määritetty 14 staattoria viikossa. Viikoittainen mediaanisaanto on kuitenkin 10 staattoria. ABB:llä halutaan ohjata Trafolle nykyistä enemmän AMI A1 -staattoreita niin, että muun tuotannon lisäksi Trafo tuottaisi viikoittain 3 AMI A1 -staattoria. Tällä tavoin ABB voisi vapauttaa kapasiteettiaan muulle tuotannolle.

Trafon tuotannon nykyisellä läpimenoajalla saannon kasvattaminen ei ole mahdollista. Saannon kasvattaminen edellyttää Trafon tuotannolta nykyistä lyhyempää läpimenoaikaa.

8.1 Nykytilan kartoitus

Alihankintaprosessin nykytila kartoitettiin. Selvitettäviä asioita olivat muun muassa läpimenoajat, läpimenoaikojen hyötysuhteet, KET, työvaiheiden kestot, tuotannossa esiintyvät odotusajat sekä ABB:n ja Trafon väliset kuljetusmäärät.

Trafon staattorituotannon läpimenoajat selvitettiin ja laskettiin työvaiheiden ja odotusten kestojen mediaanit. Tarkoituksena oli saada tarkka kuva siitä, missä ollaan nyt, jotta saisi tietoa tarvittavista toimenpiteistä läpimenoajan lyhentämiseksi. Tilanteen analysointia varten kerättiin valmistussuunnitelmasta 303 tilauksen rivit ajanjaksoilta 4 - 25/2011 ja 33 - 48/2011.

8.2 Läpimenoajan analyysi

Vyyhdenvalmistuksen ja kääminnän läpimenoajalle sekä kokonaisläpimenoajalle laskettiin hyötysuhteet. Hyötysuhteet on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Läpimenoaikojen hyötysuhteet.

Vyyhdenvalmistuksen hyötysuhde %	Kääminnän hyötysuhde %	Kokonaisläpimenoajan hyötysuhde %
69	97	30

Taulukosta 1 voi nähdä, että vyyhdenvalmistuksen ja kääminnän läpimenoaikojen hyötysuhteet ovat paljon suurempia kuin kokonaisläpimenoajan hyötysuhde, erot ovat 39 ja 67 prosenttiyksikköä. Kuten edellä mainittiin, matala hyötysuhde kertoo, että prosessissa on arvoa jalostamatonta työtä.

Tämän perusteella voidaan taulukosta päätellä, että käämintä toimii hyvinkin tehokkaasti, koska vain 3 % ajasta menee hukkaan. Vyyhdenvalmistus sen sijaan on tehotomampi. Kääminnän ja vyyhdenvalmistuksen alivaiheiden lukumäärät eroavat toisistaan. Käämintä jakautuu 3 alivaiheeseen, kun taas vyyhdenvalmistus jakautuu 6 alivaiheeseen (liite 5). Mitä enemmän on vaiheita, sitä enemmän on hukka-aikaa, koska vaiheiden väliin saattaa helposti kerääntyä KET:tä. Lisäksi kääminnän työntekijät jatkavat heti staattorin kytkennällä kääminnän jälkeen eli staattorit eivät jää odottamaan kytkennän aloitusta.

Trafon vyyhdenvalmistuksessa on tapana ajaa koneita niin kauan kuin on käytettävissä vapaita vyyhtitelineitä, joita on yhteensä 7 kappaletta. Toisin sanoen tuotannossa on tapana tehdä paljon KET:tä, koska työvaiheiden välille ei ole määritetty KET:n maksimimäärää. Esimerkiksi, jos levitysvaiheessa tapahtuu jokin tuotantoa viivästyttävä häiriö, edelliset vaiheet käyttävät telineet viimeiseen asti. Kun tuotanto lähtee jälleen pyörimään, edelliset työvaiheet joutuvat odottamaan, että telineet vapautuvat. Tällainen toimintatapa ei ole Lean-opin mukaista, jossa materiaali virtaa vaiheesta vaiheeseen mahdollisimman sujuvasti.

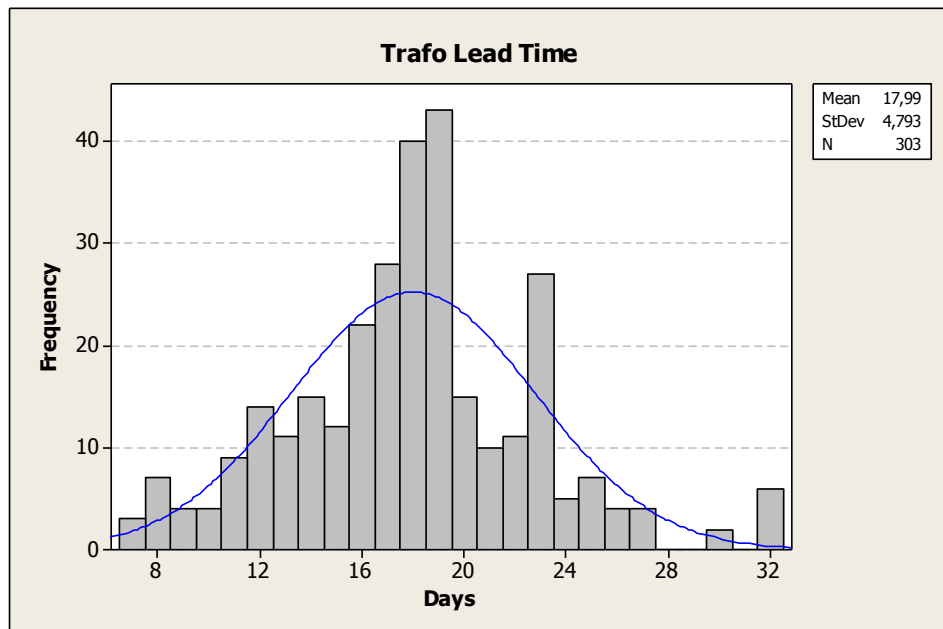
Kokonaisläpimenoajan hyötysuhde on matala, vain 30 %. Kun tätä lukua vertaa vyyhdenvalmistuksen ja kääminnän 69 %:n ja 97 %:n hyötysuhteisiin, voi päätellä, että ennen ja jälkeen päätyönvaiheita syntyy paljon odotusaikoja, mikä kasvattaa kokonaisläpimenoaika. Nämä odotusajat muodostuvat kupareiden odotuksesta ennen vyyhdenvalmistusta, odotuksesta vyyhdenvalmistuksen ja kääminnän välissä sekä valmiiden staattoreiden odotuksesta ennen niiden lähettämistä Helsinkiin. Kuvassa 15 on esitetty miten Trafon osavalmistuksen läpimenoaika muodostuu.



Kuva 15. Trafon osavalmistuksen läpimenoajan muodostuminen.

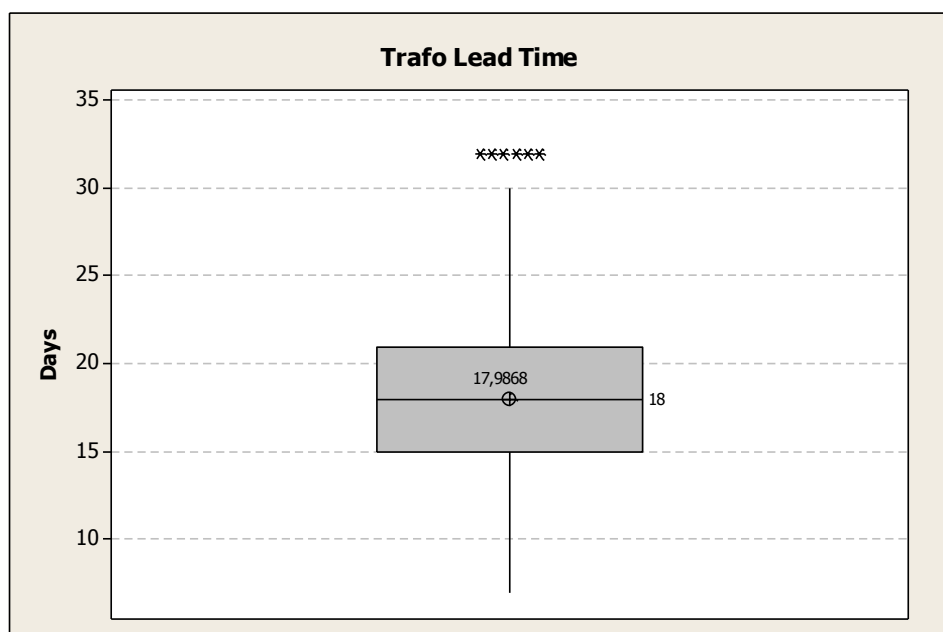
Kuvasta 15 voi huomata, että odotusaikojen osuus Trafon tuotannossa on erittäin suuri. Siirtoja ei eritelty omaksi ryhmäksi, koska niihin kuluva aika on pieni tuotantotilan pienen koon vuoksi. Kuvan 15 on tarkoitus antaa yleiskuva, tarkemmat odotusten ja työvaiheiden kestot ilmenevät kuvasta 19.

Työtä varten kerätty data sijaitsee valmistussuunnitelmassa. Valmistussuunnitelma on Excel-tiedosto, jota päivitetään sekä ABB:llä että Trafolla ja siihen kirjataan prosessin eri vaiheiden aloitus- ja lopetuspäivämäärät. Vaikka datan tarkkuus on 1 päivä, pitkällä aikavälillä heitot tasaantuvat ja saadaan luotettava läpimenoajan keskiarvo. Kuvassa 16 on esitetty AMI 400-500 -staattoreiden läpimenoaika Trafon tuotannossa histogrammina.



Kuva 16. AMI 400-500 -staattoreiden läpimenoaika Trafon tuotannossa.

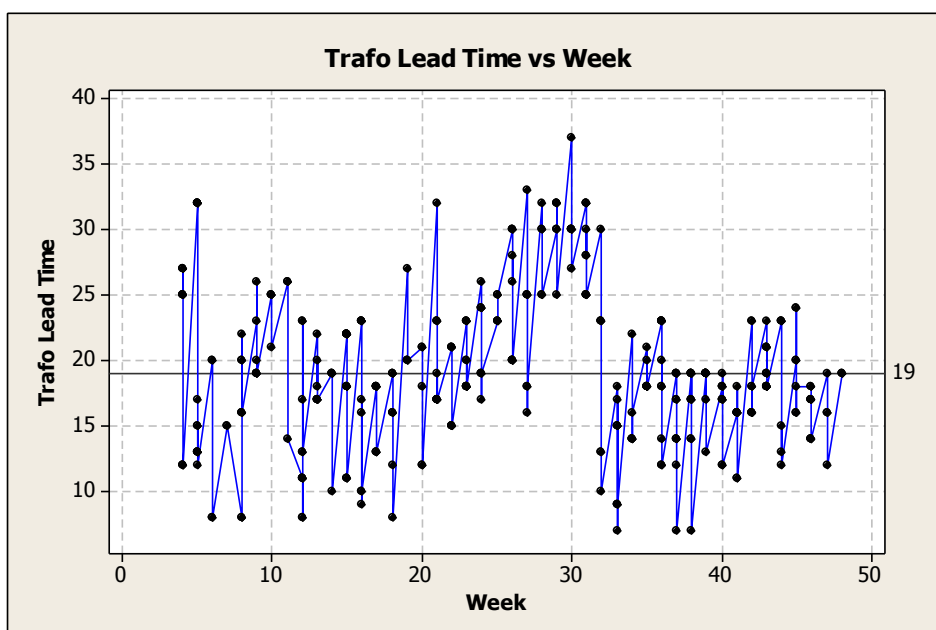
Tavallisin läpimenoaika Trafon tuotannossa on 18 päivää, vaihtelua on kuitenkin paljon. Kuvassa 17 on esitetty AMI 400-500 -staattoreiden läpimenoaika Trafon tuotannossa Boxplot-kuvaajana.



Kuva 17. AMI 400-500 -staattoreiden läpimenoaika Trafon tuotannossa.

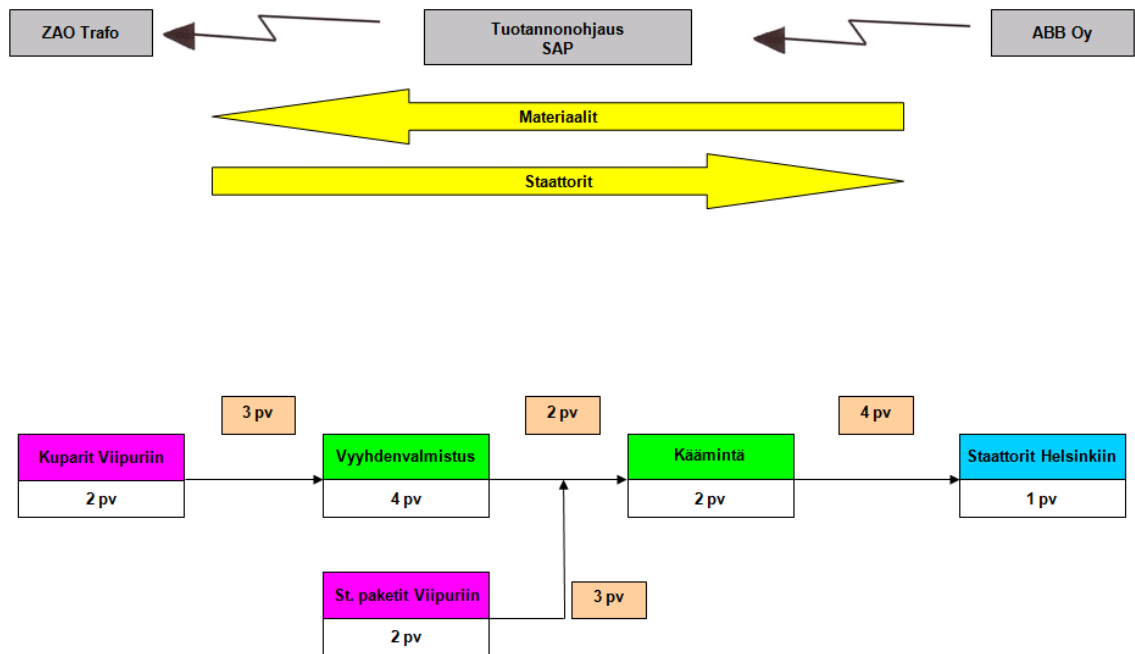
Boxplot-kuvaaja jakaantuu ala- ja yläkvartiiliin sekä mediaaniviivaan. Kvartiilien sisälle jää 50 % kaikista havainnoista. Kvartiileista ylös ja alas suuntautuvat ohuet viivat edustavat havaintojoukon minimi- ja maksimiarvoja. Tähdet edustavat arvoja, jotka ovat menneet reilusti yli muista havainnoista, ja laatikon sisällä oleva pallo edustaa havaintojoukon keskiarvoa.

Kuvan 17 mukaan tilauksen mediaaniläpimenoaika Trafon tuotannossa on 18 päivää. Kun kalenteripäivissä laskettuun läpimenoaikaan lisätään materiaalien kuljetusten vaatimat 3 päivää, saadaan mediaaniläpimenoajaksi 21 päivää eli 3 viikkoa. Kuvassa 18 on esitetty läpimenoaikojen kehitys Trafon tuotannossa ajalla 4/2011 - 48/2011.



Kuva 18. AMI 400-500 -läpimenoaikojen kehitys Trafon tuotannossa ajalla 4/2011 - 48/2011 kalenteripäivinä.

Kuvasta 18 voi nähdä, että läpimenoajat vaihtelevat huomattavasti mediaanin molemmiin puolin. Kesäkuun alusta elokuun puoleen väliin asti Trafon tuotannossa oli ongelmia, mikä myös näkyy kuvasta 18. Kyseisen ajanjakson läpimenoaikoja ei ole huomioitu laskettaessa läpimenoaikojen tunnuslukuja. Elokuun puolesta välistä läpimenoajat ovat pysyneet melko hyvin mediaaniviivan alapuolella. Kuvassa 19 on kuvattu Trafon tuotannon työvaiheiden ja odotusten kestot mediaanipäivinä.



Kuva 19. Trafon AMI-staattorituotanto, johon on lisätty kuljetusten osuus.

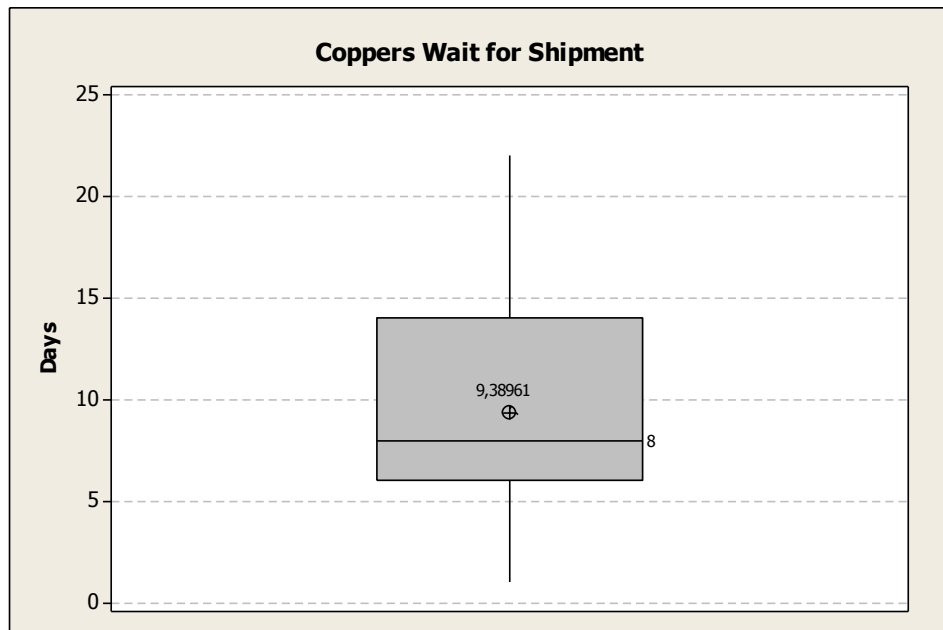
Kuva 19 näyttää ne kohdat prosessissa, joihin kannattaa kiinnittää suurin huomio läpimenoaikojen lyhentämisessä. Kyseiset kohdat ovat

- odotus kupareiden kuljetuksen ja vyyhdenvalmistuksen välillä
- odotus vyyhdenvalmistuksen ja kääminnän välillä
- odotus kääminnän ja staattoripakettien lähetyksen välillä.

Näissä kohdissa on suurin potentiaali läpimenoajan lyhentämiseksi. Staattoripakettien kuljetus ja niiden odotus ennen käämintä ei normaalisti vaikuta kokonaisläpimenoaikaan, koska kyseinen vaihe ei kuulu prosessin kriittiseen polkuun. Kriittiseen polkuun kuuluvat kupareiden kuljetus, vyyhdenvalmistus, kääminta ja staattoreiden kuljetus. Staattoripakettien kuljetus voi vaikuttaa läpimenoaikaan, jos staattoripaketit saapuvat Viipuriin myöhässä eli vasta vyyhdenvalmistuksen jälkeen.

Tällä hetkellä kriittisen polun mediaaniodotusajat ovat yhteensä 9 päivää. Lean-filosofian mukaan tuotannon pitäisi virrata vaiheesta toiseen ilman suuria pysähdyksiä. Kuvasta 19 käy ilmi, että tällä hetkellä tuotannon virtaus ei ole paras mahdollinen, pahimmillaan materiaalit pysähtyvät jopa 4 päiväksi ja syntyy Lean-periaatteiden vastaista odotus- ja varastointihukkaa.

Kuparimateriaalien odotus ennen lähetystä Viipuriin selvitettiin ottamalla 77 staattorin otos tasaisesti läpi vuoden. Otoksesta saadun datan perusteella tehtiin kuvaaja, joka on esitetty kuvassa 20.

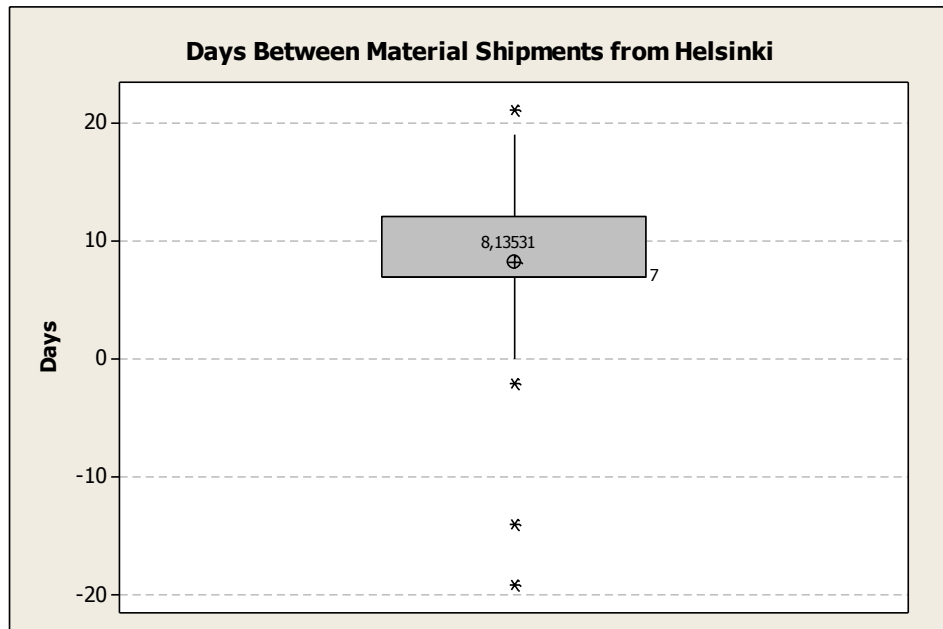


Kuva 20. Kuparimateriaalien odotus.

Kuvasta 20 ilmenee, että kuparimateriaalien mediaaniodotusaika on 8 päivää. Tuotannon virtauksen kannalta tämä aika on liian pitkä. Asiaan palataan luvussa 9.4.

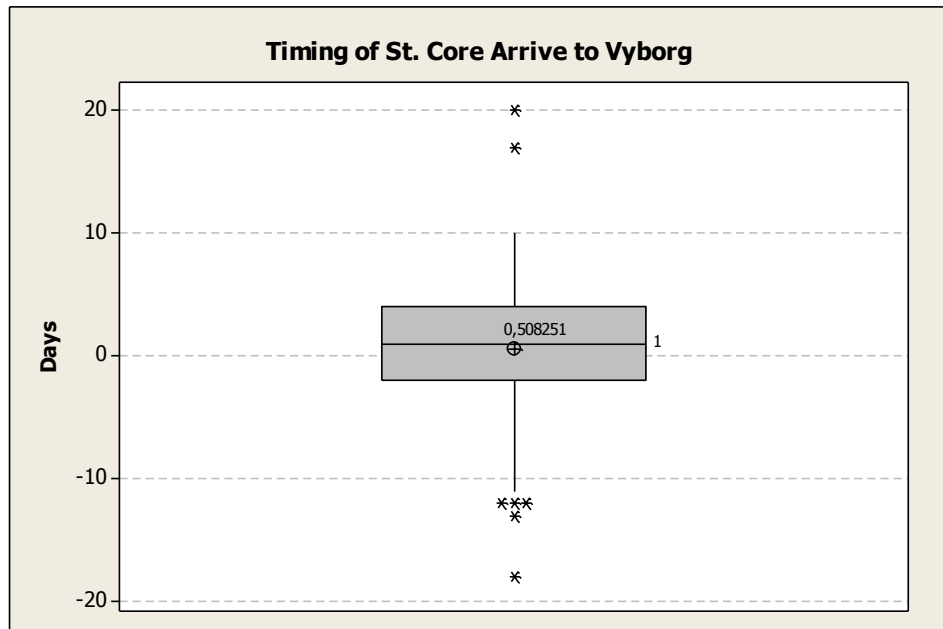
8.3 Kuljetusten ja staattoripakettien ajoitukset

Kuljetusten ajoitukset piti selvittää, jotta pystyisi arvioimaan niiden vaikutusta läpimenoaikoihin. Kuvassa 21 on esitetty kupareiden ja staattoripakettien Helsingistä lähetysten ero ja kuvassa 22 staattoripakettien Viipuriin saapumisen ja vyyhdenvalmistuksen lopetuksen ajoitus.



Kuva 21. Kupareiden ja staattoripakettien lähetysten ajoitus.

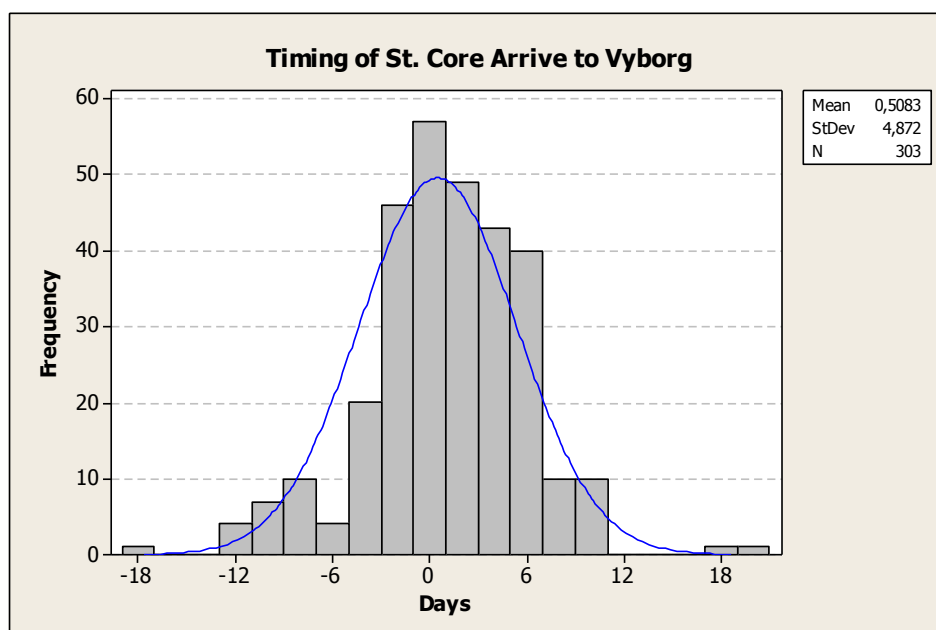
Kuvan 21 positiivisissa arvoissa staattoripaketit on lähetetty kupareiden jälkeen. Kuvas-
ta käy ilmi, että staattoripaketit lähetetään Viipuriin 7 päivää kupareita myöhemmin.
Kuparit pitääkin lähettää aikaisemmin, jotta Trafolla ehdittäisiin valmistaa vyyhtejä
käämintää varten. Staattoripaketit lähetetään niin, että ne saapuvat Viipuriin vähän
ennen vyyhtien valmistumista.



Kuva 22. Staattoripakettien ajoitus vyyhdenvalmistuksen lopetuksen kanssa.

Kuvan 22 positiivisissa arvoissa staattoripaketit saapuivat Viipuriin ennen vyyhtien valmistumista mediaanieron ollessa 1 päivä. Kuvan 22 perusteella voidaan sanoa, että materiaalit kohtaavat Trafon tuotannossa hyvin eivätkä staattoripaketit joudu kauan odottamaan kääminnän aloitusta.

Mediaani ei kuitenkaan kerro mitään arvojen vaihtelusta, jota näissäkin arvoissa esiintyy. Noin 33 %:ssa tapauksista staattoripaketit saapuivat Viipuriin vasta vyyhtien valmistumisen jälkeen. Asiaa havainnollistetaan kuvassa 23 olevassa histogrammissa.



Kuva 23. Staattoripakettien ajoitus vyyhdenvalmistuksen lopetuksen kanssa.

Kuvan 23 negatiivisissa arvoissa staattoripaketit saapuivat Viipuriin vyyhtien valmistuksen jälkeen. Tällaisissa tapauksissa kääminnän aloitus viivästyy ja samalla viivästyy prosessin muutkin vaiheet. Staattoripakettien lähetyksen viivästyminen voi johtua myöhästymästä ABB:n staattoripakettituotannossa ja/tai komponenttitoimittajien toimitusvaikeuksista.

8.4 Suomen ja Venäjän raja

Yksi läpimenoaikaan vaikuttava tekijä on Suomen ja Venäjän raja. Jos rajalla on ruuhkaa, se vaikuttaa välittömästi läpimenoaikaan pidentävästi. Kuljetusten kestojen mediaani on 2 päivää Helsingistä Viipuriin ja 1 päivä Viipurista Helsinkiin.

Trafon tuotantopäällikön pitää tehdä tulliselvitys Venäjän tullille vähintään 24 tuntia ennen rajan ylitystä. Selvityksessä ilmoitetaan muun muassa kuorman mitat, paino ja kappalemäärä. Rekka ei siis saa ylittää rajaa, ennen kuin on kulunut 24 tuntia selvityksen tekemisestä. Tulliselvitystä ei voi myöskään tehdä etukäteen eli ennen tuotannon valmistumista, vaikka kuorman tiedot ovatkin tiedossa. Tämä johtuu siitä, että jos tuotannossa tapahtuisi jokin ongelma, joka viivästyttäisi yhtä staattoria, muun kuorman pitää kuitenkin lähteä ajallaan. Jos tulliselvityksen tekisi etukäteen ja kuormassa tapahtuisi jokin muutos, pitäisi tehdä uusi selvitys ja odottaa taas 24 tuntia.

Rajanylitykset tapahtuvat Nuijamaan raja-asemalla, koska RTL:n logistiikkakeskus sijaitsee Imatralla. Logistiikkakeskuksessa kootaan materiaalit rajan yli tuotantoon kuljettaviksi kokonaisuuksiksi ja sieltä myös toimitetaan Trafolta saapuneet valmiit tuotteet asiakkaille. [10.]

8.5 Tuotannon hukat

Tässä luvussa analysoidaan Trafon tuotannossa esiintyviä hukkia. Luvussa 4.1 kerrottiin erilaisista hukkatyypeistä, jotka olivat ylituotanto, odotus, varastointi, liike, siirrot, yliprosessointi ja virheelliset tuotteet.

Ylituotanto on Trafon vyyhdenvalmistuksessa selvästi esiintyvä hukka. Ongelmana on vakiintunut toimintatapa, jossa vyyhtejä valmistetaan liikaa huomioimatta työnvaiheiden eroja kapasiteetissa. Jokainen vaihe pyrkii tekemään työtä niin kauan kuin on saatavilla raaka-ainetta tai on saatavilla vapaita telineitä. Tämä johtaa välillä telineiden riittämättömyyteen, minkä seurauksena työnvaihe X ei pysty toimimaan, jos vaiheiden välit ovat täytetty KET:llä.

Kuten edellä mainittiin, KET kertoo ongelmista tuotannossa. Tässä tapauksessa ylituotanto on seurausta siitä, että valmistetaan vyyhtejä liian aikaisin. Tämä toimintatapa ei palvele sujuvaa materiaalivirtaa sekä pienentää tuottavuutta. Jos kaikki telineet ovat käytössä, tuotanto joutuu väkisin seisoamaan jossain kohtaa prosessia. Työn aloittaminen aikaisin kasvattaa KET:n määrää ja aiheuttaa pitkiä läpimenoaikoja.

Trafolla vyyhdenvalmistuksen ylituotanto johtaa luonnollisesti toiseen hukkaan, varastointiin. Varastointi vyyhdenvalmistuksen työnvaiheiden välissä kasvattaa huomattavasti lattiapinta-alan tarvetta, koska vyyhtitelineet ovat kookkaita. Lisäksi tuotantotila on melko ahdas. Varastointi tuotantotiloissa kasvattaa työntekijöiden loukkaantumis- ja tuotteiden vahingoittumisriskiä.

Varastointi- ja odotushukkaa saattaa esiintyä myös ennen vyyhdenvalmistusta, jos varastossa on kuparimateriaaleja odottamassa pääsyä kelattavaksi. Varastossa on kuitenkin oltava tarpeeksi materiaaleja tuotantoa varten, mutta niitä ei kannata lähettää liian aikaisin varastoon makaamaan.

Vyyhdenvalmistuksen ja kääminnän välissä esiintyy sekä ylituotantoa että varastointia edellä mainituista syistä johtuen. Asiaan vaikuttaa myös se, että käämintäprosessissa ei ole sujuvaa virtausta, koska kytkennän jälkeen työntekijät odottavat tarkastuksen loppumista ennen kuin he aloittavat uuden työn. Tässä toimintatavassa tuotannon virtaus ei toimi hyvin, koska työt pysähtyvät ennen käämintää.

Odotushukkaa esiintyy niin vyyhdenvalmistuksessa kuin kääminnässäkin. Luvussa 4.1.2 todettiin, että odotushukkaa esiintyy kun tuotantoresurssit odottavat materiaaleja tai kun materiaalit odottavat pääsyä työstettäväksi. Vyyhdenvalmistuksessa tämä ilmenee, kun esimerkiksi kuparimateriaalit odottavat pääsyä kelattavaksi, mutta kelausta ei voi aloittaa, koska ei ole vapaita telineitä. Toisena esimerkkinä voisi olla materiaalien odotus vyyhdenvalmistusprosessin loppuvaiheissa, kun prosessin alkupäässä on ruuhkaa.

Ennen käämintää odottamaan voivat joutua niin materiaalit (vyyhdet ja staattoripaketit) kuin tuotantolaitteetkin (käämintäalustat). Jos henkilöstöresurssit ovat sidottu kytkentään, tuotantolaitteet joutuvat odottamaan työstettäviä materiaaleja. Samasta syystä materiaalitkin joutuvat odottamaan pääsyä työstettäväksi.

Itse käämintäprosessissa ylituotantoa ja varastointia ei juuri esiinny, koska lopettaessaan kääminnän työntekijät jatkavat heti kytkentään. Odotusta voi sen sijaan esiintyä, jos staattorit joutuvat odottamaan kytkennän jälkeen staattorin tarkastusta.

Odotushukkaa esiintyy myös, kun valmiit staattorit odottavat lähetystä Helsinkiin. Ei ole tietenkään järkevää lähettää vain paria kappaletta, koska kuljetuskustannukset ovat suuret. Tällä hetkellä Viipurista lähetetään staattoreita Helsinkiin maanantaisin ja keskiviikkoisin eli maanantain kuljetukseen menevät, loppuviikolla valmistuvat staattorit joutuvat odottamaan lähetystä ainakin viikonlopun yli.

Muita tuotannossa esiintyviä hukkia ovat liike, siirrot, yliprosessointi ja virheelliset tuotteet. Liike ei ole suuri ongelma Trafon tuotannossa, koska tuotantotila on pienehkö ja työntekijöiden kulkema matka työpisteiden välillä sekä työkalujen hauissa on kohtuullinen. Materiaalien siirrot eivät myöskään ole ongelma samasta syystä. Työpisteet ovat lähellä toisiaan eikä siirtoihin kuluva aika ole pitkä.

Yliprosessointia esiintyy Trafon tuotannossa lähinnä silloin, kun pitää korjata virheellistä tuotetta. Virheellinen tuote voi olla huonosti valmistettu vyyhti tai huonosti käämitty tai huonosti kytketty staattori. Myös väärin pakattu staattori katsotaan virheelliseksi tuotteeksi. Näissä tapauksissa tuote pitää korjata eli syntyy yliprosessointihukkaa.

Trafon tuotannossa esiintyy virheellisten tuotteiden hukkaa. Ajalla 1/2011 - 11/2011 Helsingissä tarkastetuista staattoreista 10 % oli virheellisiä. Joukossa ovat mukana kokonaan hylätyt staattorit, korjatut staattorit ja pelkän huomautuksen saaneet staattorit. Virheellinen tuote johtaa helposti muihin hukkiin kuten ylimääräiseen työhön, siirtoihin, liikkeisiin, varastointiin ja odotukseen.

8.6 Tavarankuljetukset

Tällä hetkellä Helsingin ja Viipurin välillä kuljetetaan tavaraa seuraavasti:

- materiaaleja tiistaisin ja torstaisin Helsingistä Viipuriin
- staattoreita maanantaisin ja keskiviikkoisin Viipurista Helsinkiin.

Kuljetukset on järjestetty niin, että viikoittain määränpäiden välillä kulkee 2 autoa, jotka tekevät 2 edestakaista matkaa. Auto, joka tuo staattorit Viipurista noutaa myös materiaalit Helsingistä. Kuljetuksen mediaanikesto on 2 päivää Helsingistä Viipuriin ja 1 päivä Viipurista Helsinkiin. Eroavaisuudet johtuvat ilmeisesti siitä, että raja vetää paremmin Venäjältä Suomeen tultaessa. Taulukossa 2 on esitetty kuparimateriaalien, staattoripakettien ja staattoreiden toteutuneet lähetykset viikonpäivittäin. Taulukossa esiintyvät kappalemäärät tarkoittavat yksittäisiä staattoreita.

Taulukko 2. Toteutuneet lähetyspäivät ajalla 4 - 25/2011 ja 33 - 48/2011.

Kuparin lähetys Helsingistä			Staattoripaketin lähetys Helsingistä			Staattorin lähetys Viipurista		
	kpl	%		kpl	%		kpl	%
MA	4	1	MA	5	2	MA	163	54
TI	123	41	TI	148	49	TI	16	5
KE	5	2	KE	5	2	KE	115	38
TO	163	54	TO	134	44	TO	9	3
PE	8	3	PE	11	4	PE	0	0
LA	0	0	LA	0	0	LA	0	0
SU	0	0	SU	0	0	SU	0	0

Taulukosta 2 voi nähdä, että edellä mainitut kuljetuspäivät pitävät melko hyvin paikkansa joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta. Suurin osa materiaaleista ja staattoreista lähetetään niille varattuina päivinä. Poikkeukset voivat johtua ongelmista tuotannossa, alihankkijoiden toimitusvaikeuksista tai muista *force majeure* -tekijöistä. Taulukossa 3 on esitetty materiaalien ja staattoreiden määränpäähän saapumisen toteutuneet päivät.

Taulukko 3. Saapumispäivät ajalla 4 - 25/2011 ja 33 - 48/2011.

Kuparin saapuminen Viipuriin			Staattoripaketin saapuminen Viipuriin			Staattorin saapuminen Helsinkiin		
	kpl	%		kpl	%		kpl	%
MA	22	7	MA	19	6	MA	3	1
TI	18	6	TI	18	6	TI	118	39
KE	42	14	KE	39	13	KE	49	16
TO	53	17	TO	48	16	TO	100	33
PE	42	14	PE	73	24	PE	33	11
LA	90	30	LA	81	27	LA	0	0
SU	36	12	SU	26	8	SU	0	0

Taulukon 3 mukaan staattorit saapuvat Helsinkiin arkipäivänä ja kuljetuksen kesto on melko suurella todennäköisyydellä 1 päivä. Materiaalien saapuminen Viipuriin jakaantuu koko viikolle, ei kuitenkaan tasaisesti. Huomattavaa on, että noin 40 % materiaali-kuljetuksista saapuu Viipuriin viikonloppuna. Pääsääntöisesti Trafolla ei tehdä viikonlopputoita eli vastaanoton jälkeen nämä materiaalit odottavat varastossa seuraavalle viikolle asti tuotannon alkamista.

Saapumispäivien vaihtelun syynä lienee myös raja. Hidastetekijöitä voivat olla ruuhkat rajalla ja Venäjän tullilaitoksen byrokratia.

8.7 Kuljetuskustannukset

Alihankinnan kuljetuskustannukset muodostavat ison osan staattorialihankinnan kokonaiskustannuksista. Tämän vuoksi kuljetusten määrää ei kannata kasvattaa, vaikka se vaikuttaisikin läpimenoaikoihin lyhentävästi.

Materiaaleja ja staattoreita ei kannata lähettää yksittäiskappaleina, vaan on taloudellisempaa lastata rekka mahdollisimman täyteen. Näin staattorikohtainen kuljetuskustannus voidaan pitää kohtuullisena.

9 Läpimenoajan lyhentäminen lyhyen läpimenoaikamallin staatto-reille

Tässä luvussa keskitytään Trafolla valmistettujen lyhyen läpimenoaikamallin AMI 400 - 500 -staattoreiden läpimenoajan lyhentämiseen. Tavoitteena on lyhentää Trafon tuotannon läpimenoaikaa niin, että siihen voisi viikoittain ohjata 3 AMI A1 -staattoria. Tavoitteeseen päästään poistamalla Trafon tuotannon hukkia ja mahdollistamalla tuotannon parempi virtaus. Tässä luvussa esitetään pääparannusehdotukset sekä muita kehitysajatuksia.

9.1 Vyyhdenvalmistus

9.1.1 Vakio KET vyyhdenvalmistuksessa

Kuten luvussa 8.5 mainittiin, Trafon vyyhdenvalmistuksessa on tapana tehdä ylituotantoa eli KET:tä. Tällä hetkellä Trafon vyyhdenvalmistuksessa on käytössä 7 vyyhtitelinettä, joita on liian vähän nykyisellä toimintatavalla. [11.]

Läpimenoaikojen lyhentämistä ja KET:n pienentämistä tukisi tuotannon virtauttaminen vakion KET:n eli puskureiden määrittämisellä työnvaiheiden välille. Edellinen työnvaihe ruokkisi seuraavaa työnvaihetta pitämällä puskurin aina täynnä, eikä aloittaisi uutta työtä, jos puskuri on täynnä.

Seuraava työnvaihe taas aloittaisi aina uuden työn, jos puskurissa on materiaalia - olettaen, että kyseisen työnvaiheen jälkeisessä puskurissa on tilaa. Puskureita käytettäisiin luonnollisesti tapauksissa, joissa edellisen työnvaiheen kesto on pienempi kuin seuraavan työnvaiheen. Jos seuraavan työnvaiheen kesto on pienempi kuin edellisen työnvaiheen, puskuria ei tarvita, koska työnvaiheiden väliin ei normaalisti kerry KET:tä. Tällaisessa tapauksessa KET:tä voi kertyä, jos seuraavassa lyhytkestoisessa työnvaiheessa on jokin poikkeustilanne, esimerkiksi laiterikko.

KET:tä voitaisiin ohjata työnjohtajan antamilla työmääräimillä tai ohjaustaululla. Työtä ei saisi aloittaa, jos ei ole annettu työmääräintä. Ohjaustaulu taas olisi kätevä, koska

siitä selviäisi nopealla vilkaisulla prosessin eri vaiheissa ja puskureissa olevien töiden määrä. Ohjaustaulun ongelmana voisi kuitenkin olla sen noudattamatta jättäminen.

KET-puskureita käytettäisiin, kun edellisen työvaiheen kesto olisi pienempi kuin seuraavan työvaiheen. Taulukossa 4 on esitetty vyyhdenvalmistuksen prosessin työvaiheiden kestot.

Taulukko 4. AMI 400-500 vyyhdenvalmistuksen työvaiheiden kestot tunneissa.

Työvaihe	Aika/h	Keskiarvo/h
Kelaus	3,3 - 5,0	4,15
Kone-eristys	6,7 - 10,0	8,35
Käsieristys	11,7 - 13,4	12,55
Puristus, levitys ja testaus	6,7 - 8,4	7,55
Yhteensä	28,4 - 36,8	32,6
Todellinen mediaani	33,4	-

Taulukossa 4 olevat työvaiheiden kestot ovat karkeita, mutta vastaavat melko hyvin todellisuutta. Kestot on määritetty arvioimalla vyyhdenvalmistuksen mediaanikeston jakautuminen prosentiaalisesti eri työvaiheiden kesken. Kestot vaihtelevat, koska ne riippuvat muun muassa staattorin jännitteestä ja koosta, kuparin paksuudesta, vyyhtien määrästä ja moottorin napaluvusta. [11.]

Taulukosta 4 voi huomata, että kelauksen ja kone-eristyksen välissä pystyisi pitämään yllä puskuria, koska kelauksen vaatima aika on pienempi kuin kone-eristyksen vaatima aika. Samoin kone-eristyksen ja käsieristyksen välissä voi pitää yllä puskuria. Käsieristyksen ja puristuksen välissä ei puskuria tarvita, koska puristusvaiheen kesto on pienempi. Myöskään puristuksen ja levityksen välillä ei tarvita puskuria, koska vyyhdet levitetään heti puristuksen jälkeen yksitellen.

Edellä mainituin keinoin vyyhdenvalmistuksessa pärjättäisiin pienemmällä määrällä telineitä, mikä vapauttaisi lattiapinta-alaa. Lisäksi KET:n määrä olisi pienempi ja tuotanto virtaisi paremmin. Virtauttamalla vyyhdenvalmistus vakion KET:n avulla mahdollistetaan odotusaikojen pienentyminen työvaiheiden välillä. Lisäksi odotusaika ennen vyyhdenvalmistusta lyhenisi.

Vyyhdenvalmistuksen kesto lyhenisi arviolta 4 päivästä 3 päivään ja kuparin vyyhdenvalmistuksen odotus lyhenisi 3 päivästä 2,25 päivään. Lyhennystä olisi yhteensä 1,75 päivää.

9.1.2 Sarjavalmistus vyyhdenvalmistuksessa

Toisena vaihtoehtona on sarjavalmistus, joka on hyvä keino lyhentää läpimenoaikaa. Ideana on, että vyyhdenvalmistusprosessin aloittaja eli kelauskoneen käyttäjä ei kelaakaan kaikkia vyyhtejä heti vaan käyttäjä kelaat sarjan, jonka koko olisi ennalta määritetty.

Kun kelaaja on kelannut ensimmäisen vyyhtisarjan, hän siirtää sen eristettäväksi koneeristykseen ja eristyskoneen käyttäjä alkaa välittömästi eristää vyyhtejä. Ensimmäisen sarjan ollessa eristettävänä eristyskoneella, kelauskoneen käyttäjä alkaa kelata seuraavaa sarjaa. Kun seuraavan sarjan vyyhdet on kelattu, ne laitetaan puskuriin odottamaan pääsyä koneeristykseen. Tässä siis voi soveltaa myös vakion KET:n mallia. Näin edettäisiin läpi koko vyyhdenvalmistusprosessin. Sarjat kulkisivat vaiheesta toiseen aivan tarkastukseen asti.

Mikä on sitten optimaalinen sarjakoko? Sarjakoko ei tietenkään saa olla liian suuri, jotta saataisiin haluttu tulos läpimenoajan lyhentämisessä. Sarjakoko ei saa myöskään olla liian pieni, muuten työntekijät kuluttavat liikaa aikaa puolivalmisteiden siirtämiseen työpisteiden välillä. On olemassa optimaalisen sarjakoon laskukaavoja, mutta ne sisältävät aina yleistyksiä. Todellisuudessa on useita tekijöitä vaikuttamassa lopputulokseen. Optimaalisen sarjakoon löytäminen onnistuu vain kokeilemalla.

Esimerkissä 2 kuvataan sarjavalmistuksen tuoma läpimenoajan lyhentämismahdollisuus. Esimerkissä on käytetty taulukon 4 vaiheiden kestojen keskiarvoja.

ESIMERKKI 2

Erään tilauksen vyyhdet jaetaan 10 erään eli yhden erän kelaus kestää 25 min. Erän eristäminen koneeristyksessä kestää 50 min ja käsieristyksessä 75 min. Erän työstäminen puristuksessa, levityksessä ja testauksessa kestää 45 min.

*Erän läpimeno vyyhdenvalmistusprosessin läpi kestää $25 \text{ min} + 50 \text{ min} + 75 \text{ min} + 45 \text{ min} = 195 \text{ min}$. Samanaikaisesti prosessin alkupäässä on työstettävänä saman projektin seuraavia vyyhtieriä. Seuraavat 9 erää valmistuvat 75 min välein, koska pisin työvaihe on käsieristys, jonka kesto on juuri tuo 75 min. Vyyhdenvalmistuksen läpimenoaika on $195 \text{ min} + 9 * 75 \text{ min} = 870 \text{ min} \approx 960 \text{ min} = 16 \text{ h}$.*

Esimerkki on karkea, mutta suuntaa antava. Esimerkin tulos on pyöristetty ylöspäin, jotta siirtojen, asetusajojen ja muiden arvoa lisäämättömien toimintojen vaikutus tulisi otettua huomioon.

Vyyhdenvalmistuksen mediaaniläpimenoaika on 4 päivää. Sarjavalmistus mahdollistaisi tämän ajan pienenemisen 2 - 2,5 päivään eli läpimenoaika lyhenisi 1,5 - 2 päivää.

Koska kuparimateriaali virtaisi tuotannon läpi nopeammin, varastossa oleva materiaali ei joutuisi odottamaan enää yhtä pitkään pääsyä työstettäväksi ja odotusaika ennen vyyhdenvalmistusta lyhenisi. Odotusajan pituuden määrittävät vyyhdenvalmistuksen kesto ja varastossa olevan työjonon määrä. Lisäksi kylmällä säällä pitää odottaa, että lämpimään varastoon tuotu materiaali kuivuu ennen kuin sitä voidaan työstää tuotannossa.

Esimerkin 2 mukaan vyyhdenvalmistuksen läpimenoaika lyhenisi noin 38 - 50 %. Kuparimateriaalin odotusaika pienenisi 1,5 - 2 päivään eli lyhennystä olisi 1 - 1,5 päivää.

9.2 Käämintä

Nykyisin kääminnässä on voimassa toimintatapa, jossa työntekijät odottavat kytkentävaiheen jälkeen staattorin tarkastuksen loppumista ennen kuin he alkavat käämiä uutta staattoria. Tarkastuksen kesto vaihtelee staattoreittain, mutta karkeasti voi arvioida, että tarkastus kestää 2 - 4 tuntia. Toisin sanoen muutama tunti työaikaa menee hukkaan, kun odotetaan tarkastuksen loppumista. Nykyisellä 10 staattorin viikoittaisella saannolla työaikaa menee hukkaan 20 - 40 tuntia viikossa.

Kyseessä on merkittävä tuotannon hukka. Toimintatavan pitäisikin muuttua niin, että kytkentävaiheen jälkeen työntekijät alkaisivat heti käämiä seuraavaa staattoria. Staat-

torin tarkastuksen yhteydessä mahdollisesti ilmenevä ongelma korjattaisiin myöhemmin keskeyttämällä aloitettu uusi työ.

Poistamalla tämä hukka voidaan viikoittaista työhön käytettävää aikaa kasvattaa 20 - 40 tunnilla. Kääminnän virtaus paranisi ja materiaalin odotusaika vyyhdenvalmistuksen ja kääminnän välissä lyhenisi. Odotusaika vyyhdenvalmistuksen ja kääminnän välissä lyhenisi arviolta 0,25 päivällä 1,75 päivään.

9.3 Kuljetukset

Odotusaika kääminnän ja staattoreiden lähetysten välillä on 4 päivää. Odotusajan syynä on a) valmiiden staattoreiden odottaminen kääminnässä ja kytkennässä kesken olevia staattoreita ja b) mahdollisesti väärät kuljetuspäivät.

Koska nykyisin staattoreita lähetetään Helsinkiin maanantaisin ja keskiviikkoisin, maanantaina lähetettävät staattorit joutuvat odottamaan lähetystä viikonlopun yli. Materiaaleja lähetetään Viipuriin tiistaisin ja torstaisin eli materiaalit saapuvat määränpäähän usein viikonloppuna ja odottavat tuotannon alkamista seuraavalla viikolla (taulukot 2 ja 3). Tähän on syynä kuljetuksen kesto, joka on 2 päivää.

On suositeltavaa, että ABB ja Trafo kokeilevat seuraavia vaihtoehtoja uusiksi kuljetuspäiviksi:

Vaihtoehto A

- tiistaisin ja keskiviikkoisin Helsingistä Viipuriin
- tiistaisin ja torstaisin Viipurista Helsinkiin

Vaihtoehto B

- maanantaisin ja tiistaisin Helsingistä Viipuriin
- maanantaisin ja keskiviikkoisin Viipurista Helsinkiin

Vaihtoehto A:ssa Helsingistä tiistaina lähtevä auto noutaisi myös staattorit Viipurista ja Viipurista tiistaina lähtevä auto noutaisi materiaalit Helsingistä. Tämän vaihtoehdon

etuna on se, että viikon toinen materiaalikuljetus aikaistuisi päivällä ja näin ollen materiaalit saapuisivat Viipuriin useammin arkipäivänä kuin viikonloppuna. Näin materiaalia olisi useammin saatavilla tapauksissa, joissa materiaalin tarve ilmenee jo perjantaina. Lisäksi staattoreiden kuljetuspäivät on asetettu kalenteriviikolle tasaisemmin, mikä mahdollistaa staattoreille lyhyemmän lähetyksen odotuksen.

Vaihtoehto B:n ainoa muutos nykytilanteeseen on materiaalikuljetusten päivien muutos. Tässä vaihtoehdossa Helsingistä maanantaina lähtevä auto noutaisi myös staattorit Viipurista ja Viipurista maanantaina lähtevä auto noutaisi Helsingistä materiaalit. Vaihtoehto B:ssä on tarkoituksena pelkästään varmistaa, että mahdollisimman moni materiaalikuljetus saapuisi Viipuriin arkipäivänä.

Taulukoissa 5 ja 6 on esitetty staattoreiden keskimääräinen valmistuminen viikonpäivittäin. Taulukoiden perusteella tehtiin karkea analyysi staattoreiden kuljetuspäivien muutoksen vaikutuksesta lähetyksen odotukseen. Analyysi toteutettiin laskemalla jokaisen staattorin lähetyspäivän odotus 4 viikon ajalta ja laskemalla arvojen keskiarvo ja mediaani. Analyysi on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 5. Staattoreiden valmistuminen viikonpäivittäin, vaihtoehto A.

	MA	TI	KE	TO	PE	LA	SU
Lähetys		L		L			
St. valmis	SV	SV	SV	SV	SV		
St. valmis	SV	SV	SV	SV			
St. valmis			SV				

Taulukko 6. Staattoreiden valmistuminen viikonpäivittäin, vaihtoehto B.

	MA	TI	KE	TO	PE	LA	SU
Lähetys	L		L				
St. valmis	SV	SV	SV	SV	SV		
St. valmis	SV	SV	SV	SV			
St. valmis			SV				

Taulukoissa 5 ja 6 on oletus, että staattorit valmistuvat juuri taulukoissa esiintyvinä päivinä.

Taulukko 7. Analyysi kuljetuspäivien muutoksen vaikutuksesta lähetyksen odotukseen.

	Keskiarvo	Mediaani
Vaihtoehto A	2,3	1,5
Vaihtoehto B	3,2	3,5
Nykytilanne	3,9	4

Taulukossa 7 on esitetty molempien edellä mainittujen vaihtoehtojen lähetyksen odotuksen keskiarvo ja mediaani. Taulukon 7 perusteella vaihtoehto A:ssa staattoreiden odotusaika ennen lähetystä voisi lyhentyä jopa 50 % eli 2 päivää.

Analyysi on siis karkea. Analyysin pohjana käytettiin viikoittaista 10 staattorin mediaanisaantoa. Ei voi kuitenkaan olettaa, että staattorit valmistuisivat joka viikko samaan tahtiin ja että saanto olisi joka viikko tasan 10 staattoria. Analyysi on kuitenkin suuntaa antava ja käyttökelpoinen.

Vaihtoehto B antaa kuvan tilanteesta, jossa staattoreiden kuljetuspäiviä ei ole muutettu. Taulukossa 7 vaihtoehto B:n arvot ovat hyvin lähellä nykytilanteen arvoja, mikä kertoo analyysin käyttökelpoisuudesta. Muitakin skenaarioita on analysoitu, joissa on kokeiltu erilaisia valmistumispäiviä. Kaikki ne antoivat samansuuntaisia tuloksia kuin edellä esitelty analyysi.

9.4 Kuparimateriaalin odotus ABB:n varastossa ennen lähetystä Viipuriin

Tällä hetkellä kuparimateriaalin mediaaniodotusaika ennen lähetystä Viipuriin on 8 päivää. Kuparit tilataan hyvissä ajoin ennen tarvepäivää ja niiden pitää olla ABB:n varastossa lähetysvalmiina tarvepäivänä. Kuitenkin 8 päivän varastointiaika on liian pitkä materiaalin virtauksen kannalta. Trafolla valmistettavien AMI A1 -staattoreiden osalta olisi syytä kehittää nykytilannetta, jotta varastointiaikaa saataisiin lyhyemmäksi.

Syynä noin pitkään varastointiaikaan on ilmeisesti valmistussuunnitelmamallissa oleva kuparipuskuri. Oletuksena kaikilla kuparihankinnoilla on 14 päivän puskuri, eli todellisesta tarvepäivästä oston jonossa näkyvä "tavoitepäivä" on aina vähintään kaksi viikkoa aikaisemmin. Olisi hyvä, jos ostot, tuotannonsuunnittelu ja valmistus keskustelisi-

vat keskenään noin pitkän puskurin järkevyydestä ja mahdollisuudesta lyhentää valmistussuunnitelmamallia puskurin kohdalta esimerkiksi 5 - 7 päivällä. [16.]

9.5 Lyhyen läpimenoaikamallin staattoreiden priorisointi

Edellä on kerrottu Trafon tuotannon läpimenoajan lyhentämismahdollisuuksista ja -keinoista. Tässä työssä on lisäksi tarkoituksena luoda 3 viikoittaiselle AMI A1 -staattorille niin sanottu ohituskaista, jota pitkin kyseisiä staattoreita voisi valmistaa.

Ohituskaistan idea toteutuu priorisoimalla AMI A1 -staattorit eli asettamalla ne työjonon alkupäähän. Jos Trafolle saapuneessa kuormassa on AMI A1 -staattoreiden materiaaleja, ne ajetaan ensimmäisinä tuotantoprosessin läpi. Tämä koskee niin vyyhdenvalmistusta kuin käämintää.

Tuotantovaiheen jälkeen staattorit pakataan ja lastataan ensimmäiseen Helsinkiin lähtevään kuormaan. Priorisointi mahdollistaa AMI A1 -staattoreille lyhyemmät odotusajat ennen vyyhdenvalmistusta ja käämintää. Nykytilanteessa priorisointi ei ole mahdollinen, mutta on toteutettavissa lyhyemmällä tuotannon läpimenoajalla.

9.6 Alihankkijoiden toimitusvarmuus

Alihankkijoiden toimitusvarmuudella on iso vaikutus läpimenoaikojen pituuteen. On ollut tapauksia, joissa toimittajan toimitus on myöhästynyt, ja sen seurauksena ABB:ltä lähtevä materiaali kuorma myöhästyi suunnitellusta lähetyspäivästä.

Jos lähetettävät materiaalit joutuvat odottamaan viivästynyttä toimitusta, syntyy Lean-oppien vastaista odotus- ja varastointihukkaa ja tuotannon virtaus kärsii. Alihankkijoita onkin syytä informoida omasta tuotantofilosofiasta, jotta he tiedostaisivat toimitusvarmuuden merkityksen ABB:lle. Alihankkijoiden pitää käsitellä toimituksen myöhästymisen aiheuttaneen poikkeamansa asianmukaisesti, tunnistaa niiden syyt ja ryhtyä toimenpiteisiin ongelmien poistamiseksi.

9.7 Muita kehitysideoita

9.7.1 Monitaitoisuus

Trafon työntekijät eivät ole erityisen monitaitoisia. Kääminnän työntekijät osaavat sekä käämiä että kytkeä staattoreita. Vyyhdenvalmistuksessa taas eristäjät osaavat eristää vyyhtejä sekä käsin että koneellisesti ja kelauskoneen käyttäjät pystyvät työskentelemään myös levityskoneella. Kääminnän ja vyyhdenvalmistuksen välillä ei tapahdu vaihtelua. Monitaitoisuutta esiintyy tuotannossa, mutta vain tiettyyn pisteeseen asti.

Trafon tuotannossa olisi syytä kehittää työntekijöiden monitaitoisuutta, koska se parantaa merkittävästi tuotannon tehokkuutta ja virtausta. Osan kääminnän työntekijöistä voisi kouluttaa työskentelmään jollain lyhytkestoisella vyyhdenvalmistuksen työvaiheella, esimerkiksi kelauskoneella. Vyyhdenvalmistuksessa monitaitoisuutta voisi laajentaa kouluttamalla työntekijöitä työskentelemään sekä eristyksessä että muissa työvaiheissa. Tällainen järjestely monipuolistaa työntekijöiden toimenkuvaa, koska he voivat silloin tällöin vaihtaa työpistettä. Lisäksi lisääntyy joustavuus poissaolotilanteessa, koska useat henkilöt osaavat käyttää samoja koneita.

Tuotannon tehokkuuden ja virtauksen parantamisen lisäksi monitaitoisuus siis mahdollistaa vaihtelun työtehtävissä ja näin ollen kasvattaa työmotivaatiota. Rahallinen kannustin kasvattaisi työntekijöiden kiinnostusta monitaitoisuuteen. [15.]

9.7.2 Aloitetöiminta

Aloite on parannusehdotus, joka vähentää toiminnan kustannuksia ja parantaa tuottavuutta, työturvallisuutta, työviihtyvyyttä tai työmenetelmiä. On suositeltavaa, että Trafolla otetaan käyttöön aloitetöiminta, jossa työntekijät saavat tehdä edellä mainittuja asioita koskevia parannusehdotuksia. Aloitetöiminta kannustaisi työntekijöitä työpaikan, työympäristön ja tuotannon kehittämiseen. Aloitteeksi katsottaisiin sellainen idea, joka ei kuulu aloitteen tekijän toimenkuvaan.

Hyväksytyistä aloitteista maksettaisiin palkkio. Palkkio määriteltäisiin suhteessa aloitteen avulla saavutettavaan taloudelliseen hyötyyn. Palkkio voisi olla ennalta määritelty

summa, jos aloite on yksinkertainen ja hyvin vähän taloudellista hyötyä tuova. Aloitepalkkiot voidaan maksaa sekä yksittäisille työntekijöille että ryhmille. [14, s. 26.]

9.7.3 Tarkastajien määrä

Trafon tuotannossa on välillä ongelmana staattorin tarkastajien vähyys, mikä ilmenee läpimenoaikojen pidentymisenä. Jotta tällainen tilanne vältettäisiin, Trafo voisi kouluttaa 1 - 2 tarkastajaa nykyisten 2 tarkastajan lisäksi. Työpaikalla tulisi olla aina riittävä määrä tarkastajia.

9.7.4 Läpimenoajan laskeminen

Nykyisin tilauksen läpimenoaika lasketaan staattoripakettien lähetyspäivästä alkaen. Kuitenkin ennen staattoripakettien lähetystä, Viipuriin on lähetetty kuparimateriaali vyyhdenvalmistusta varten. Nykymalli on jäänne ajalta, jolloin Viipurissa tehtiin vain käämintä.

Asia on syytä päivittää ajan tasalle, jotta läpimenoajan laskenta olisi luotettavampaa. Tilauksen läpimenoajan voisi laskea siitä päivästä, kun kuparimateriaalit lähetetään Viipuriin. Kyseisen muutoksen etuna on, että laskettu läpimenoaika tulee vastaamaan todellista läpimenoaikaa.

9.7.5 Tuotannon poikkeamat

Tuotannon poikkeamat kasvattavat tuotteiden läpimenoaikaa. Virheellisen tuotteen korjaus - tai pahimmassa tapauksessa hylkääminen - viivästyttää tuotantoa ja kasvattaa toiminnan kustannuksia. Tuotannossa esiintyvät virheet poistuvat vain niistä oppimalla.

Ilmenneet poikkeamat tulee käydä yhdessä läpi ja analysoida niiden juurisyyt. 5 kertaa miksi on erittäin hyvä työkalu juurisyyn analysoinnissa. Ideana on kysyä niin monta kertaa miksi, että juurisyy selviää. On erittäin tärkeää, että poikkeaman juurisyyn aiheuttava tekijä selviää ja tulee ymmärretyksi, jotta saman virheen tekeminen osattaisiin välttää jatkossa.

9.7.6 KET:n visuaalinen esitys

KET:tä voi ohjata työnjohtajan antamilla työmääräimillä tai ohjaustaululla. Ohjaustaulu kertoisi tuotantoprosessin eri vaiheissa ja puskureissa olevien KET:n määrän, ja jokaisen olisi helppo nopealla vilkaisulla saada kokonaiskuva tuotannon tilanteesta.

9.7.7 Käyttäjäkunnossapito

Ehdotan, että Trafolla otetaan käyttöön käyttäjäkunnossapitotoiminta. Koneiden käyttäjät voisi kouluttaa kehittämään koneiden häiriötöntä toimintaa tekemällä säännöllisesti (aikataulun mukaan) käyttämilleen koneille siivouksen, tarkastukset ja voitelut. Käyttäjäkunnossapito on tuotantolaitteiden rikkoutumista ehkäisevää toimintaa ja omalta osaltaan tukee lyhyempää läpimenoaikaa.

9.7.8 Tuotannon tasaaminen

Trafon tuotannon saanto vaihtelee viikoittain. On suositeltavaa, että pyritään luomaan mahdollisimman tasainen viikoittainen kysyntä. Viikoittaisen saannon ollessa mahdollisimman tasainen töiden valmistumisen ennustettavuus paranee.

Vaihteleva saanto ei hyödynnä tuotantoresursseja tehokkaasti. Yhdellä viikolla saataan tehdä paljon ylitöitä ja käyttää kaikkia tuotantolaitteita, kun taas seuraavalla viikolla työmäärän ollessa alhainen tuotantolaitteiden ja henkilöstön kapasiteettia ei täysin hyödynnetä.

Viikoittain valmistuvan määrän vaihteluun vaikuttaa osastolla olevan KET:n määrän vaihtelu. Tasaisen virtauksen luominen pienentää vaihtelua ja edistää saantojen tasaamista. [17, s. 43.]

9.8 Lisähuomioita

9.8.1 5 S

Trafolla on käytössä 5 S -metodi. Sitä ei kuitenkaan täysin noudateta - ainakaan samassa mittakaavassa kuin ABB:llä. 5 S -metodi olisi syytä käydä Trafon henkilöstön kanssa kertaalleen läpi ja painottaa sen tärkeyttä. Tuotannon työnjohtajan tulisi valvoa sen noudattamista.

9.8.2 Tuotannon materiaalivirta

Kuten liitteestä 5 ilmenee, Trafon materiaalivirta ei ole paras mahdollinen. Tässä työssä asiaan ei kuitenkaan ole puututtu, koska tuotantolaitteet ja työpisteet sijaitsevat hyvin lähellä toisiaan. Vaikka materiaalivirrassa ilmenee taaksepäin-liikettä, tuotantoprosessi ei hidastu juuri ollenkaan ylimääräisistä liikkeistä ja siirroista.

9.8.3 AMI A1 -staattoreiden tunnistaminen

Trafolle lähetettävien AMI A1 -staattoreiden pitää olla merkittyjä, jotta ne voisi tuotannossa tunnistaa lyhyen läpimenoaikamallin staattoreiksi. Valmistussuunnitelmassa pitää olla tieto, että kyseessä on AMI A1 -staattori. Lisäksi saman tiedon pitää olla saatavissa tuotannossa, esimerkiksi työnjohtajan antamassa työmääräimessä.

9.9 Yhteenveto läpimenoajan lyhentämisestä

Trafolla on mahdollisuuksia tuotannon läpimenoajan lyhentämiseen. Nykyisin tuotannon virtaus on melko huono. Tästä on seurauksena erilaisia tuotannon hukkia, joista merkittävimmät ovat ylituotanto, odotus ja varastointi.

Vyyhdenvalmistuksessa materiaalit otetaan aikaisin työn alle ja niitä työstetään enemmän rinnakkain kuin peräkkäin. Tästä seuraa pitkä vyyhdenvalmistuksen läpimenoaika ja kuparimateriaalin pitkä odotusaika ennen vyyhdenvalmistusta. Tuotanto pysähtyy usein ennen käämintä, koska työntekijät saattavat olla odottamassa kytkentävaiheen jälkeisen tarkastuksen loppumista. Kääminnän huono

virtaus kasvattaa valmiiden staattoreiden Helsinkiin lähettämisen odotusta ja odotusaikaa vyyhdenvalmistuksen ja kääminnän välissä.

Edellä kerrottiin keinoista, joilla Trafon tuotannon läpimenoaikaa saadaan lyhyemmäksi. Taulukossa 8 on esitetty yhteenveto läpimenoajan lyhenemisestä.

Taulukko 8. Yhteenveto läpimenoajan lyhenemisestä.

Prosessin vaihe	Vanha kesto/pv	Uusi kesto/pv	Lyhennys/pv
Odotus ennen vyyhdenvalmistusta	3	1,5 - 2,25	0,75 - 1,5
Vyyhdenvalmistus	4	2,5 - 3	1 - 1,5
Odotus ennen käämintä	2	1,75	0,25
Käämintä	2	2	0
Odotus ennen lähetystä Helsinkiin	4	2	2

Kokonaislyhennys on 4 - 5,25 päivää. Tämä vastaa 22 - 29 % Trafon tuotannon läpimenoajasta ja 19 - 25 % kokonaisläpimenoajasta, kun otetaan huomioon materiaalien ja staattoreiden kuljetusten kestot.

Trafon tuotannossa ei voi poistaa kokonaan tuotannossa esiintyviä odotusaikoja. Odotusaikoihin ennen vyyhdenvalmistusta ja ennen lähetystä Helsinkiin vaikuttaa myös se, että viikoittain on 2 kuljetusta kumpaankin suuntaan. Materiaaleja ja valmiita staattoreita lähetetään siis erissä. Jos Trafon käämintäyksikkö sijaitsisi naapuriosastolla, materiaaleja ja valmiita staattoreita voisi kuljettaa työnumero kerrallaan ja odotusajat olisivat murto-osa nykyisestä.

Trafon tuotannon lisäksi kehitettävää löytyi myös Suomesta. Trafolle lähetettävä kuparimateriaali varastoidaan ABB:n Espoossa sijaitsevassa varastossa. Mediaanivarastointiaika on 8 päivää, joka on liikaa materiaalin sujuvan virtauksen kannalta.

Pääkehitysideoiden lisäksi työssä esiteltiin muita läpimenoajan lyhentämistä tukevia kehitysjatoksia. Pitkällä tähtäimellä olisi suotavaa, että myös niihin kiinnitetään huomio.

Edellä mainituilla keinoilla alihankintaprosessin läpimenoaikaa on mahdollista lyhentää 9 - 11 päivää. Tämän pitäisi riittää viikoittaisen Trafon tuotannon saannon kasvattamiseen 3 AMI A1 -staattorilla.

10 Lyhyemmän läpimenoajan hyöty lyhyen läpimenoaikamallin staattoreille

Lyhyt läpimenoaika pienentää yrityksen vaihto-omaisuuden kustannuksia ja mahdollistaa lyhyemmän toimitusajan. Tällä hetkellä Trafolla valmistetut staattorit ajetaan A-malliin, jossa on pitempi tuotannolle varattu aika kuin A1-mallissa. Lyhyemmällä läpimenoajalla mahdollistetaan myös AMI A1 -staattoreiden valmistus Trafolla, vaikka sen tuotannossa olisikin täysi kuormitus päällä. Alihankittujen AMI A1 -staattoreiden tuotannon kasvattaminen vapauttaa kapasiteettia ABB:n omassa tuotannossa. Vapautunutta kapasiteettia voi hyödyntää muiden tuotteiden valmistuksessa.

Trafon tuotannon saannon kasvattaminen mahdollistaa rekan kuljetuskapasiteetin paremman hyödyntämisen kuljetettaessa materiaaleja Viipurista Helsinkiin. Tällä hetkellä rekan mediaanitäyttöaste on 90 % kuljetettaessa materiaaleja Helsingistä Viipuriin ja 63 % kuljetettaessa staattoreita Viipurista Helsinkiin.

Nykyisin ABB:n kuljetuskustannus on x €/saatu staattori, kun Trafon tuotannon viikoittainen saanto on 10 staattoria. Viikoittaisen saannon kasvaessa 3 staattorilla 13 staattoriin kuljetuskustannus olisi $0,77x$ €/saatu staattori. Vähennystä on $0,23x$ € eli 23 %. (Oikeat euromäärät ovat vain työn tilaajan tiedoksi.)

ABB maksaa RTL:lle 13 staattorin viikoittaisesta kapasiteetista. Näin on asian laita, vaikka Trafo tuottaisi vähemmän kuin 13 staattoria. Trafon tuotannon saannon kasvattaminen 3 staattorilla viikossa mahdollistaa sen, että ABB saa paremman vastineen rahoilleen.

11 Keskeisimmät potentiaaliset kehittämiskohteet

11.1 Ylituotanto vyyhdenvalmistuksessa

Trafon vyyhdenvalmistuksessa on tapana tehdä ylituotantoa. Työnvaiheiden toimintaedellytyksenä on tekemiskelpoisen työn olemassaolo ja vapaana olevat vyyhtitelineet. Nykyisessä toimintatavassa työnvaiheet työstävät materiaaleja, jos molemmat edellä mainitut ehdot täyttyvät. Vyyhtitelineiden loppuun käyttäminen kasvattaa KET:tä ja aiheuttaa huonon tuotannon virtauksen vyyhdenvalmistuksessa.

Luvussa 9.1.1 esitettiin vakion KET:n eli puskureiden määrittäminen vyyhdenvalmistuksen työnvaiheiden väliin. Tarkoituksena on, että edellinen työnvaihe ruokkisi seuraavaa työnvaihetta pitämällä puskurin aina täynnä, eikä aloittaisi uutta työtä, jos puskuri on täynnä. Seuraava työnvaihe taas aloittaisi aina uuden työn, jos puskurissa on materiaalia - olettaen, että kyseisen työnvaiheen jälkeisessä puskurissa on tilaa. KET:tä voitaisiin ohjata esimerkiksi työnjohtajan antamilla työmääräimillä. Työtä ei saisi aloittaa, jos ei ole annettu työmääräintä.

Luvussa 3.2 mainittiin, että KET:n määrä on lähes suoraan verrannollinen läpimenoaikaan. Edellä mainitulla keinolla voidaan vyyhdenvalmistusprosessin KET pitää vakiona ja vähentää ylituotantoa.

11.2 Odotus vyyhdenvalmistuksen ja kääminnän välissä

Kääminnässä on voimassa toimintatapa, jossa työntekijät odottavat kytkentävaiheen jälkeen staattorin tarkastuksen loppumista ennen kuin he alkavat käämiä uutta staattoria. Tarkastuksen kesto vaihtelee staattoreittain, mutta karkeasti voi arvioida, että tarkastus kestää 2 - 4 tuntia eli työaikaa menee hukkaan 20 - 40 tuntia viikossa.

Muuttamalla kyseistä toimintatapaa niin, että kytkentävaiheen jälkeen työntekijät alkaisivat heti käämiä seuraavaa staattoria, mahdollistetaan tämän hukka-ajan käyttämisen itse tuotantoon.

11.3 Valmiiden staattoreiden odotus ennen lähetystä Helsinkiin

Luvussa 9.3 esiteltiin vaihtoehto nykyisille kuljetuspäiville. Vaihtoehdossa kuljetuspäiviä on muutettu niin, että viikon toista Viipuriin lähtevää materiaalikuljetusta on aikaistettu 1 päivällä, jotta materiaalit saapuisivat määränpäähän useammin arkipäivänä kuin viikonloppuna.

Helsinkiin lähteviä staattorikuljetuksia on myöhennetty 1 päivällä, jotta kuljetukset olisivat jakautuneet tasaisemmin pitkin viikkoa. Näin mahdollistetaan valmiille staattoreille lyhyempi odotusaika ennen lähetystä Helsinkiin.

11.4 Viipuriin lähetettävän kuparimateriaalin varastointiaika

Työn teon aikana selvisi, että kuparimateriaalien mediaanivarastointiaika ennen kuin se lähetetään Viipuriin on 8 päivää. Työn loppumetreillä selvisi, että ABB:n toiminnohjausjärjestelmässä oli tekijä, joka sai ostajan ostamaan materiaalit liian aikaisin. Poistamalla tämä tekijä on mahdollista lyhentää varastointiaikaa noin 75 %.

12 Yhteenveto

Tässä työssä oli tavoitteena lyhentää Viipurin staattorialihankinnan läpimenoaikaa, jotta Trafo voisi tuottaa nykytuotannon lisäksi 3 lyhyen läpimenoaikamallin AMI-staattoria. Tuotantomäärän kasvattaminen edellyttää Trafon tuotannolta noin 25 % nykyistä lyhyempää läpimenoaikaa.

Edellä esiteltiin keinoja, joilla voidaan lyhentää läpimenoaikaa. Nämä keinot myös pienentävät tuotannon vaihtelua, joka johtuu ylituotannosta ja tuotannon huonosta virtauksesta. Vaihtelua tulee kuitenkin esiintymään jatkossakin. Siihen vaikuttaa jo pelkästään staattorin vyyhtien määrä - esimerkiksi 108 vyyhtiä sisältävän staattorin tuotanto kestää paljon kauemmin kuin 42 vyyhteä sisältävän staattorin.

Trafon käämintäyksikön tuotantokapasiteetti on rajallinen - esimerkiksi enempää tuotantolaitteita ei tuotantotilaan mahdu tilan pienen koon vuoksi. Edellä esitetyillä ideoilla pystytään kuitenkin kasvattamaan nykyistä tuotantomäärää. Lisäksi tuotannon odotusajat pienenevät ja näin ollen tuotantoajan osuus kasvaa.

Tulevaisuudessa kannattaa edelleen kehittää toimintaa ja jatkaa hukkien poistamista. Voisi jopa harkita siirtymistä 3-vuorotyöhön. Näin Trafon käämintäyksikkö tuottaisi 50 % nykyistä enemmän staattoreita. Tämä on tietysti myös kustannuskysymys, mutta asiaa kannattaa harkita, jos se havaitaan tarpeelliseksi ja kannattavaksi. Trafon tuotannon kapasiteetin kasvattaminen vapauttaisi entisestään ABB:n tuotannon kapasiteettia.

Läpimenoaikaa pidentäviä tekijöitä edelleen löytyy, esimerkkinä mainittakoon tulliselvitys, jonka Trafon tuotantopäällikön on tehtävä 24 tuntia ennen rekan rajan ylitystä. Olisi hyvä, jos tällaisesta byrokratiasta päästäisiin tulevaisuudessa eroon. Ehkä Venäjän tuleva WTO-jäsenyys auttaa tässä asiassa.

Tämän insinöörityön tekeminen oli hyvin opettavainen kokemus. Työn aihe oli erittäin mielenkiintoinen ja haastava. Koulussa opetetut asiat tukivat hyvin työn tekemistä. Koen, että työn tekemisen myötä olen paljon valmiimpi vastaavan työn tekemiseen työelämässä.

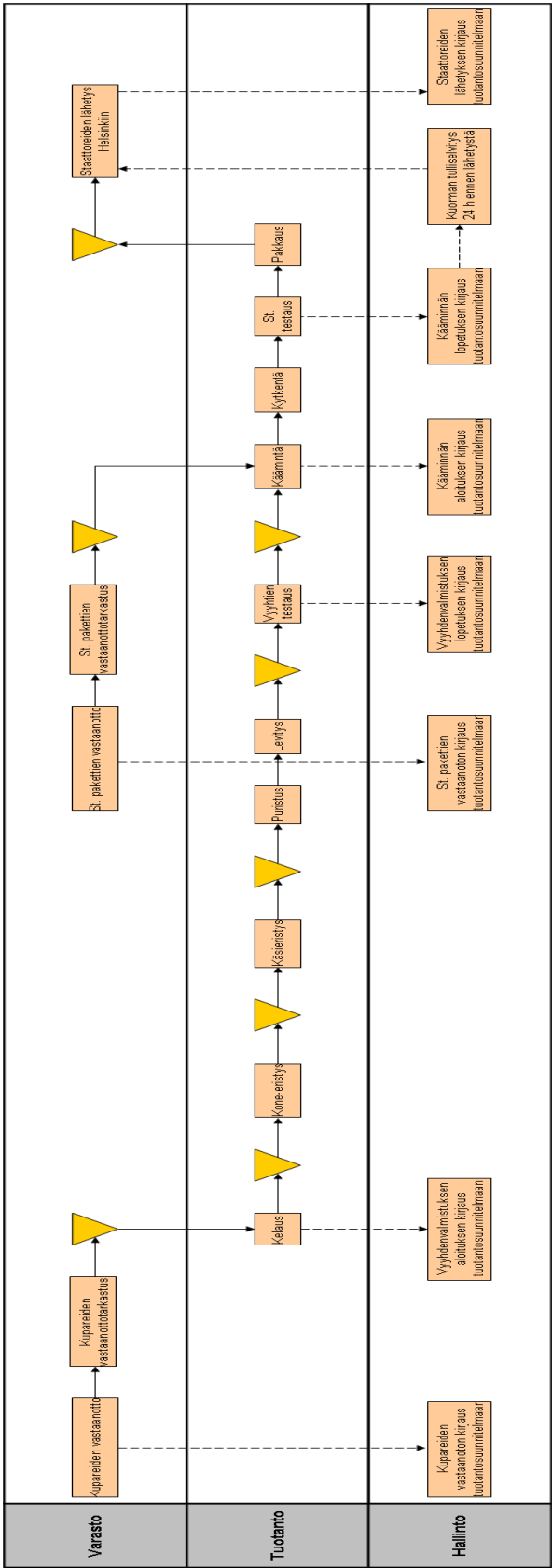
Lähteet

- [1] ABB Oy:n Helsingin tehtaan perehdytyskansio
- [2] ABB Oy:n intranet [Viitattu 28.11.2011]
- [3] ABB. Verkkodokumentti. www.abb.fi [Viitattu 28.11.2011]
- [4] Lapinleimu, Ilkka et al., *Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät*. WSOY: Porvoo. 1997.
- [5] Bruun, Pentti. *Tuotannon virtauttaminen ja analysointi*. Metalliteollisuuden keskusliitto: Helsinki. 1987.
- [6] Trafo. Verkkodokumentti. www.trafo.ru [Viitattu 28.11.2011]
- [7] Bass, Issa et al., *Lean Six Sigma*. McGraw-Hill: New York. 2009.
- [8] Abdullah, Fawaz. *Lean manufacturing tools and techniques in the process industry with a focus on steel*. Dissertation. University of Pittsburgh. School of Engineering. Pittsburgh. 2003.
- [9] HCI. Verkkodokumentti. <http://www.hci.com.au/hcsite3/toolkit/images/pdca02.gif> [Viitattu 14.12.2011]
- [10] IB Russia Trading. Verkkodokumentti.<http://www.russtradeib.fi/fi/etusivu/> [Viitattu 29.12.2011]
- [11] Tekninen tukihenkilö Mihail Filimonovin haastattelu. ZAO Trafo. 29.9.2011
- [12] IB Russia Trading. Verkkodokumentti.<http://www.russtradeib.fi/binary/file/-/fid/2/> [Viitattu 4.1.2012]
- [13] IB Russia Trading. Verkkodokumentti.<http://www.russtradeib.fi/binary/file/-/fid/3/> [Viitattu 4.1.2012]
- [14] http://www.mol.fi/mol/fi/99_pdf/fi/03_tutkimus_ja_kehittaminen/02_tykes/05_aineistopankki/julkaisut/raportti41.pdf [Viitattu 16.1.2012]
- [15] Laukkanen, Konsta. *Teräsosatehtaan tuotantoprosessin kehitysprojekti*. Insinööriyö. Helsingin ammattikorkeakoulu Stadia. Lahti. 2008.

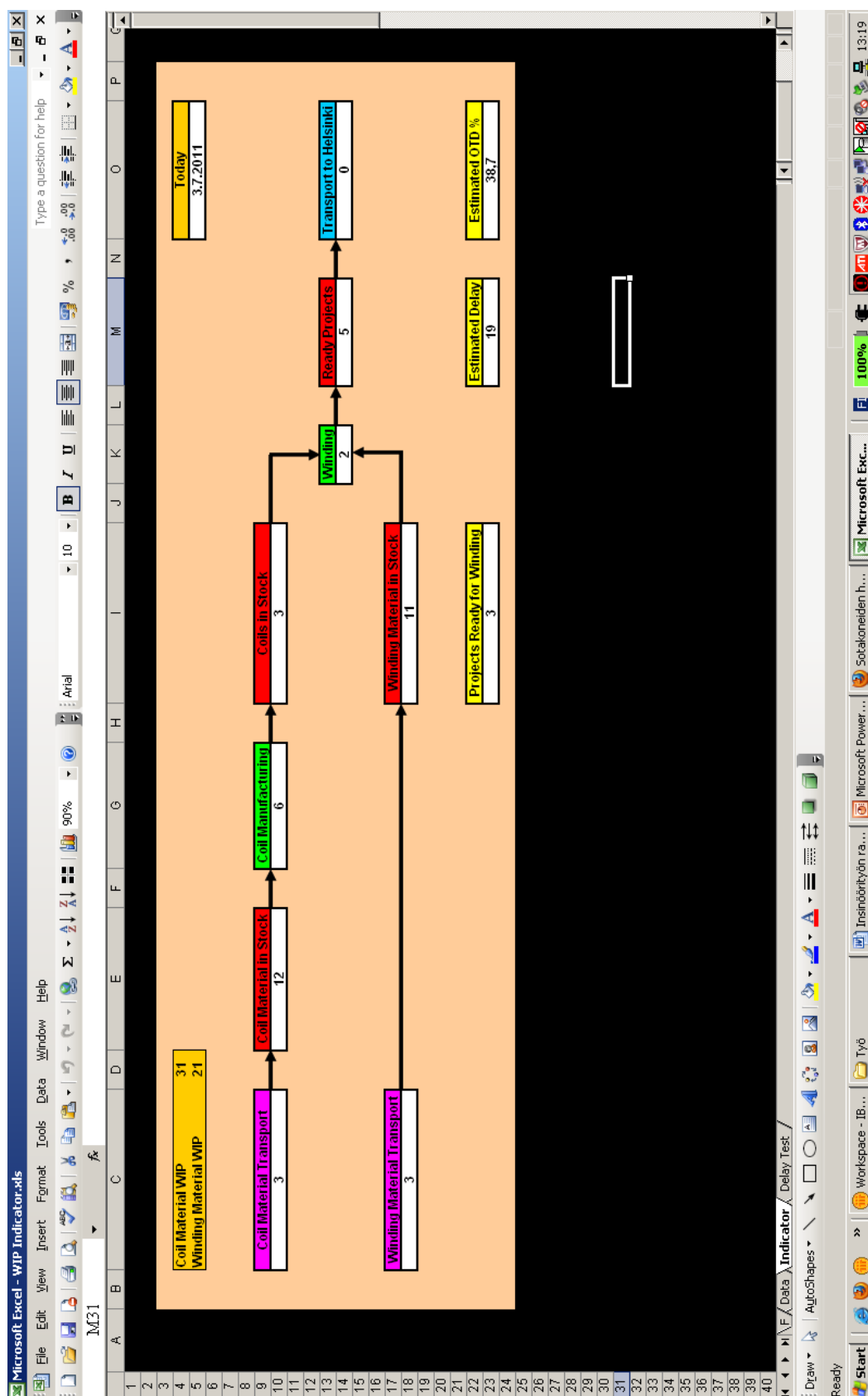
- [16] Pökkä, Jaakko. ABB Oy. Re: Kuparimateriaalin varastointiaika [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Aleksandr Karvinen. Lähetetty 24.1.2012 [viitattu 24.1.2012].

- [17] Lilja, Johannes. *Sähkökonetehtaan komponenttivalmistuksen tuottavuuden parantaminen Lean-ajattelumallin avulla*. Insinööritoimisto. EVTEK-ammattikorkeakoulu. Helsinki. 2008.

ZAO Trafon tuotantoprosessi



Mittarin yleisnäkymä



[illegible]

Data-välilehti

Microsoft Excel - ManufacturePlan.XLS																
Q20																
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Coil Material Transport in Stock	Winding Material Transport in Stock	Winding Material in Stock	Coil Manufacturing	Coils in Stock	Ready Project Winding	Ready Project s	Transport t to Helsinki	Estimated Delay	Ready for Winding	Coils Ready Projects	Coils Transport to Helsinki	WIP			
50																
51																
52																
53																
54																
55																
56																
57																
58																
59																
60																
61																
62																
63																
64																
65																
66																
67																
68																
69																
70																
71																
72																
73																
74																
75																
76																
77																
78																
79																
80																
81																
82																
83																
84																
85																

ZAO Trafon materiaalivirrat

